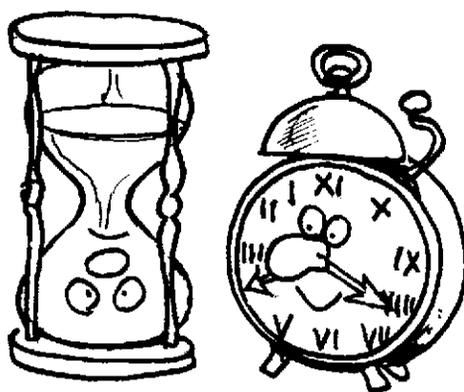
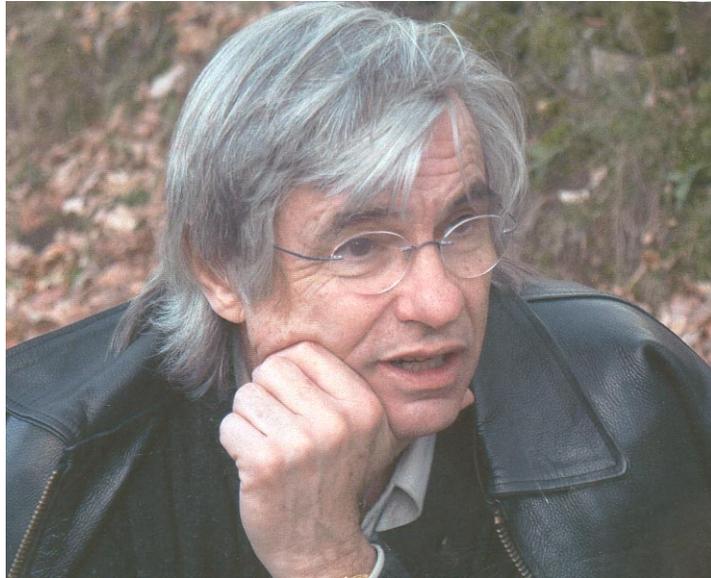


# EL CRONOLOGICÓN

**Jean-Pierre Petit**



Traducción:  
Juan Carlos Anduckia



El autor

Jean-Pierre Petit, 68 años, retirado, en el plano científico aún se mantiene activo en numerosos campos: la mecánica de fluidos, la magnetohidrodinámica, la astrofísica, la cosmología teórica, la física teórica, la geometría y la informática. Ha escrito 32 libros, algunos de ellos traducidos a 8 idiomas. Si desea saber más puede visitar su sitio en Internet:

<http://www.jp-petit.com>

El presente archivo pdf puede ser copiado o distribuido sin restricciones. Puede ser incluido en su sitio web y utilizado con fines pedagógicos.

La finalidad es que el mayor número posible de personas tenga acceso a él.



El traductor

Juan Carlos Anduckia, 36 años, reside actualmente en Cartagena, Colombia. Es traductor independiente y mantiene interés en temas relacionados con la actividad científica y su divulgación.

Lanturly rima con locurly... ¡Sea! ¿Pero acaso no fueron Kepler,  
Newton, Darwin y hasta el propio Einstein, unos locurlys?  
¡Si la ciencia no avanzara más que por los caminos ya  
recorridos, entonces no avanzaría nada!

Jean Claude Pecker

Lanturlu rime avec hurluberlu... Sört! Mais  
Kepler, Newton, Darwin, et même Einstein n'étaient-ils  
pas, eux aussi, un peu, des hurluberlus? Si la science  
n'avancóit que sur les sentiers battus, elle n'avancerait  
guère!

~~Uec~~  
Jean-Claude Pecker

# PRÓLOGO



¿Anselmo, qué es para ti el TIEMPO?

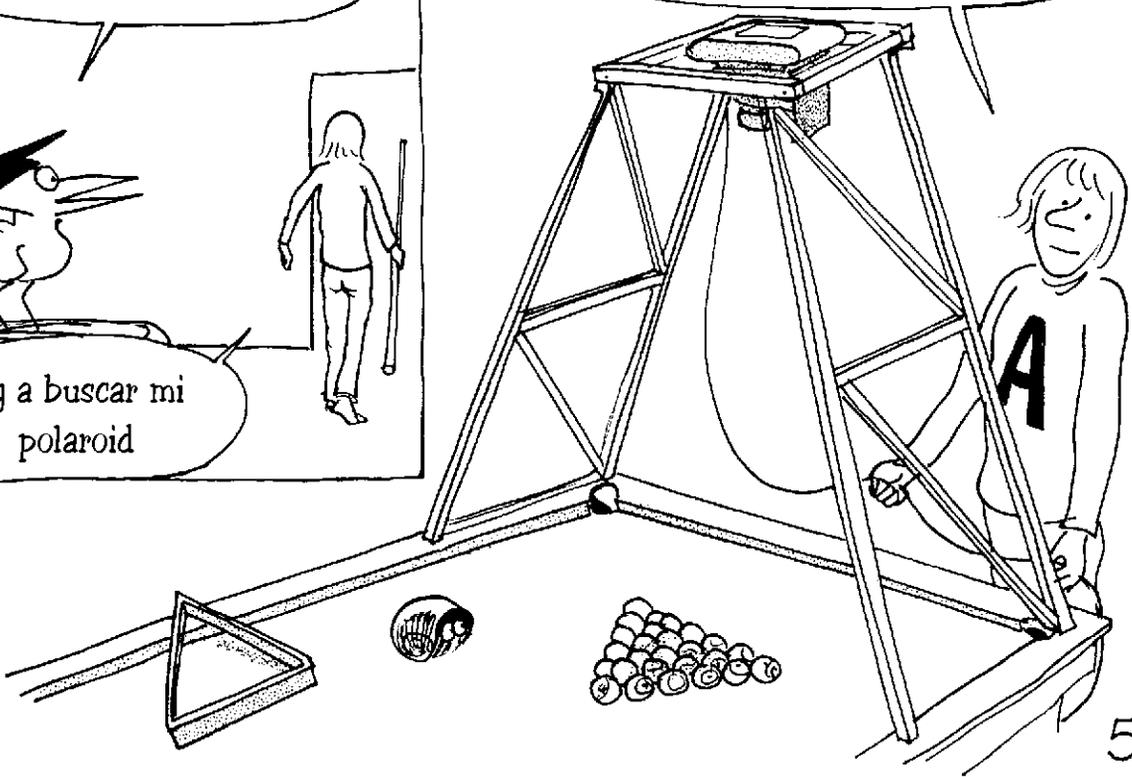
¿Cómo distinguir el PASADO del FUTURO?



¿A dónde vas...?

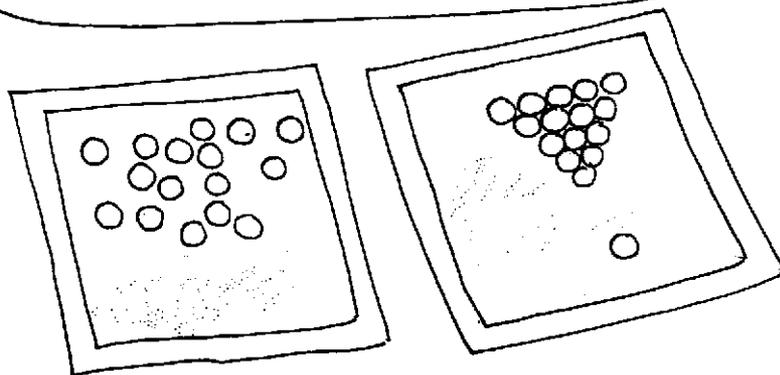
Voy a buscar mi polaroid

Bueno, estoy listo...

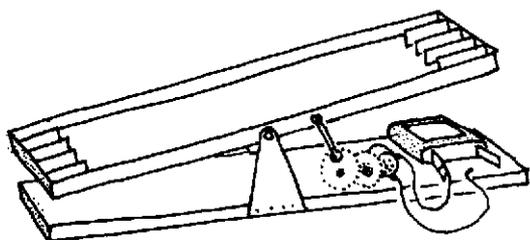


¡Sofía!

Observa estas dos instantáneas. La una es **POSTERIOR** a la otra. Sería bueno tener una forma de clasificarlas con relación al tiempo y determinar su **CRONOLOGÍA**



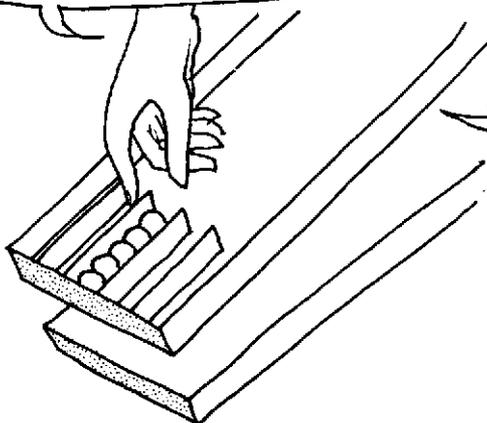
# PROBABILIDAD



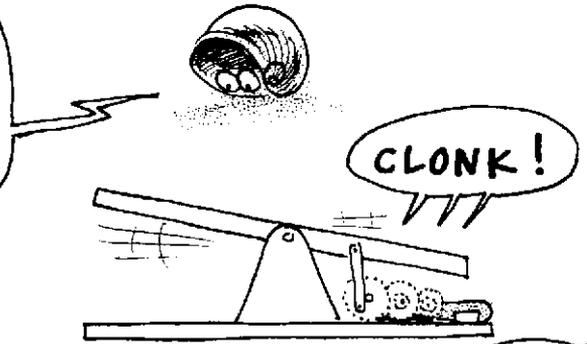
Es una buena idea. Aquí tienes una máquina que te va a permitir ilustrar todo eso más claramente

Consta de una tabla oscilante en torno a un eje, con casillas dispuestas simétricamente en los extremos

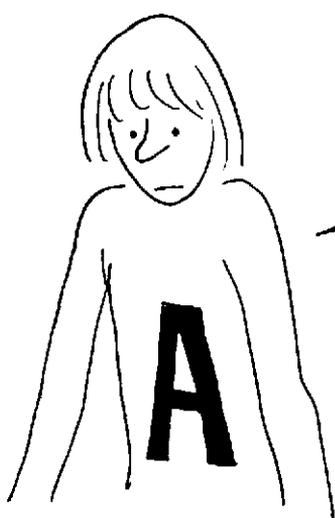
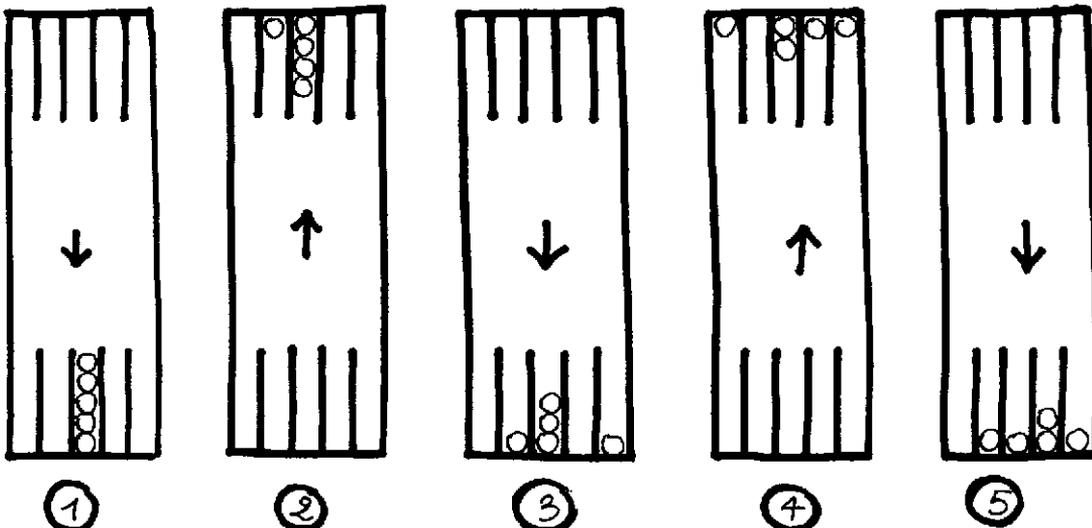
Antes de poner la máquina en marcha, coloco cinco bolas en una de las casillas, por ejemplo en la del centro



Ahí la tienes. La tabla, cuando el eje está bien horizontal, oscila suavemente, lo que provoca un movimiento de vaivén de las bolas de un extremo a otro



Observa: las pequeñas irregularidades de la máquina y la turbulencia del aire hacen que las bolas no permanezcan en su casilla inicial, sino que por el contrario tienden a migrar a las casillas adyacentes



Las bolas van y vienen, pero no parecen tener la menor intención de volver a las mismas casillas de partida

Al parecer, esa situación es demasiado IMPROBABLE



¿Qué quieres decir?

Piensa. Hay un chance entre cinco de que una bola se encuentre en una casilla dada, digamos la No. 2. E igualmente hay un chance entre cinco de que otra bola se encuentre allí. Por lo tanto hay un chance entre veinticinco de que dos bolas se encuentren en la misma casilla

Las **PROBABILIDADES** se multiplican y eso da  $1/5 \times 1/5 = 1/25$

Así mismo, colocando tres bolas al azar, habrá ( $1/5 \times 1/5 \times 1/5 = 1/125$ ) un chance en ciento veinticinco de encontrarlas en una determinada casilla

Esto aquí corresponde a un chance en  $5 \times 5 \times 5 = 125$ , y eso allá a un chance en  $5^5 = 3125$ , lo que da una probabilidad de  $1/3125 = 0,00032$

Si se considera que todas las casillas son equivalentes, la probabilidad de encontrar las cinco bolas en una misma casilla será  $P = 5 \times 0,00032 = 0,0016$

Si no se consideran diferencias entre las casillas, las probabilidades de cada una de las configuraciones son las siguientes:

$$\begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array} \longrightarrow P = 0,0016$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array} + \circ \longrightarrow P = 0,032$$

$$\circ + \circ + \circ + \circ + \circ \longrightarrow P = 0,0384$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array} \longrightarrow P = 0,064$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array} + \circ + \circ \longrightarrow P = 0,192$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array} + \circ \longrightarrow P = 0,288$$

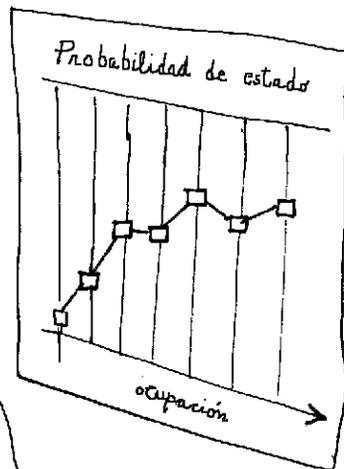
$$\begin{array}{|c|} \hline \circ \\ \hline \end{array} + \circ + \circ + \circ \longrightarrow P = 0,384$$

Curioso: el caso en que hay una bola en cada casilla no es el más probable

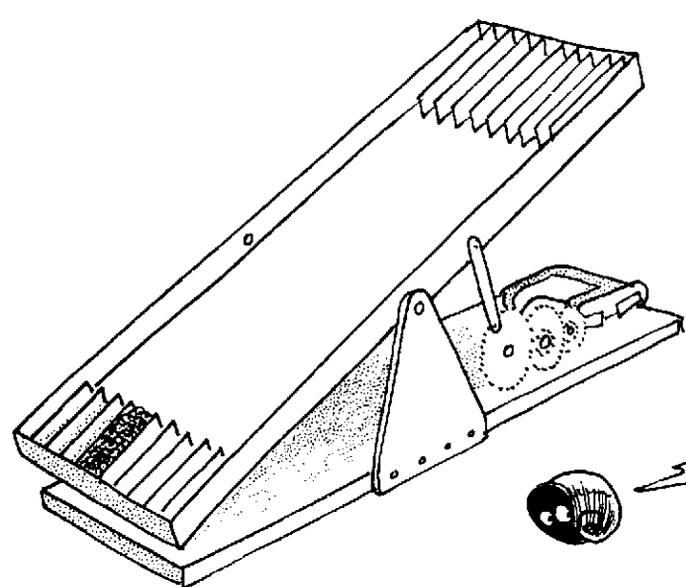
Grafiquemos las probabilidades de las sucesivas configuraciones de nuestro experimento

## SEGUNDO PRINCIPIO

Está claro, Sofia. La probabilidad de estado aumenta rápidamente a medida que se suceden estados cada vez más probables



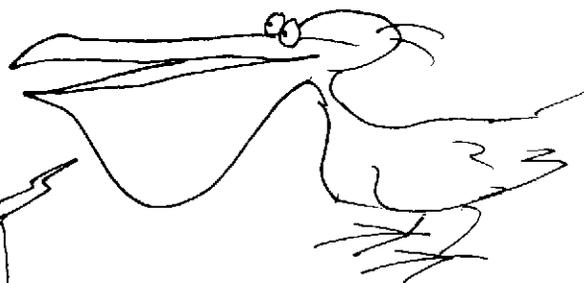
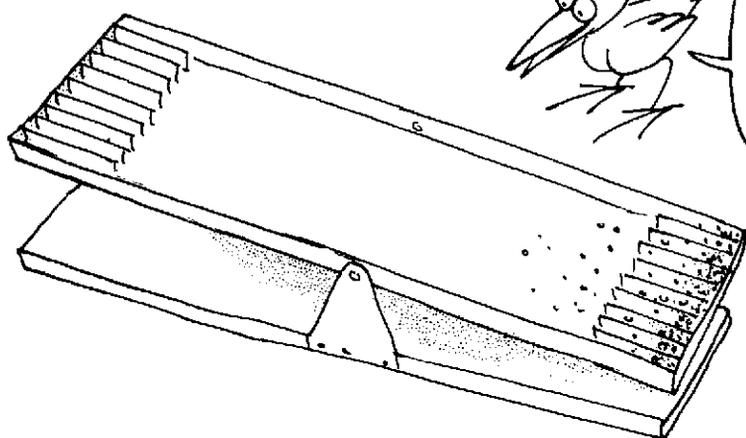
Ensayá con diez casillas y mil bolas



Anselmo ha usado balas de caza. La probabilidad de encontrar las mil balas en una misma casilla es  $(1/10)^{1000} \times 10$ , lo que da  $P = 0,0000\dots0001$  (¡998 ceros!), un número extremadamente pequeño



Cuando la máquina se pone en marcha, las bolas tienden a distribuirse en las diferentes casillas en cantidades prácticamente iguales



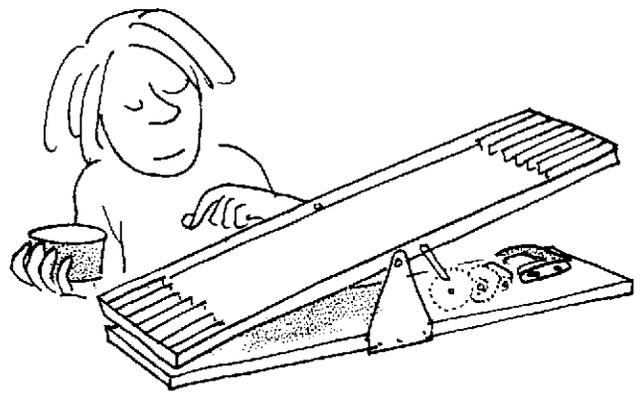
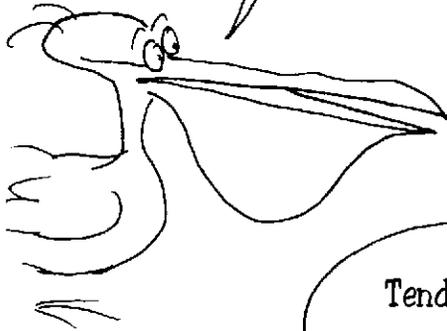
Todos los estados que se observan están entonces cerca de un estado promedio en el que todas las casillas contendrían el mismo número de bolas (\*)

Esquematizamos este resultado bajo la forma del **SEGUNDO PRINCIPIO** diciendo que: **TODO SISTEMA AISLADO TIENDE HACIA SU ESTADO MÁS PROBABLE**



(\*) Un sistema con una estabilidad estadística de este tipo se denomina **ERGÓDICO**

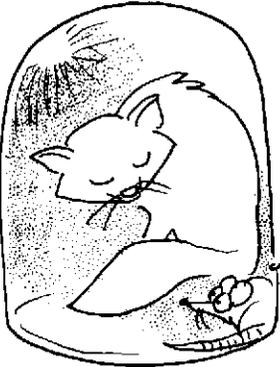
¿Y cómo es un sistema que no está aislado?



Tendrás uno en cuanto Anselmo termine de alinear las bolas

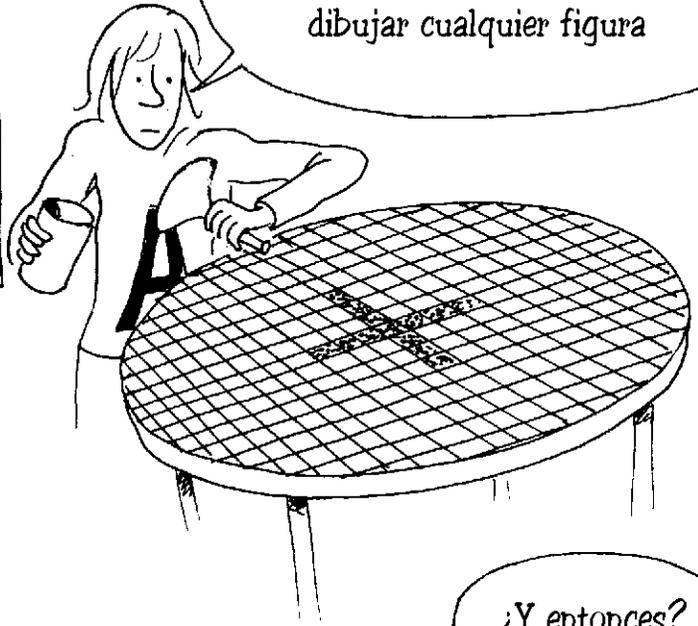


A menos que sea vegetariano

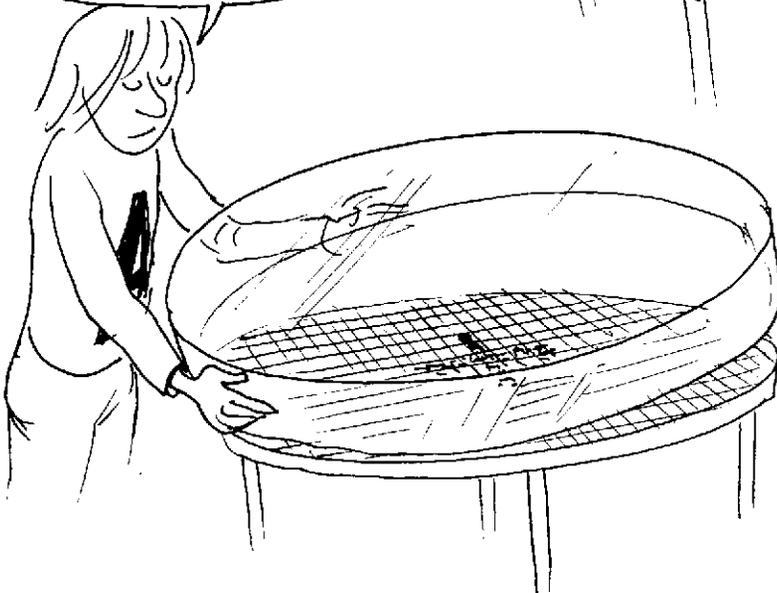


Sistema aislado:  
tiende a converger a un  
estado de máxima  
probabilidad

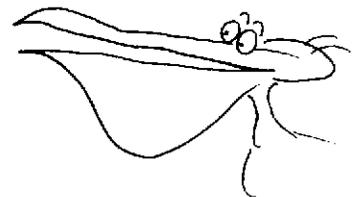
Mira, Sofia, he mejorado el sistema. Sobre la mesa he dispuesto tabletas y pequeños plomos con los que puedo dibujar cualquier figura



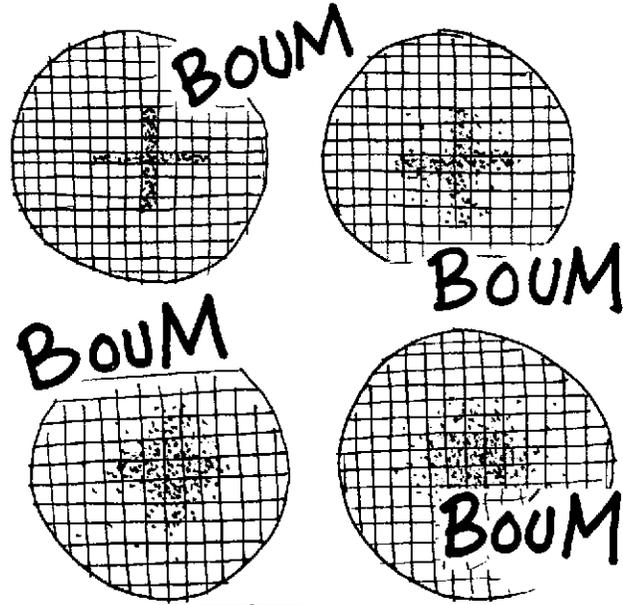
Ahora recubro todo con una cubierta transparente



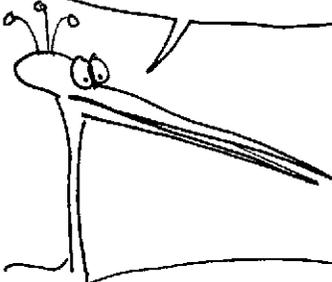
¿Y entonces?



Sólo me queda dar unos pequeños golpes de martillo por debajo

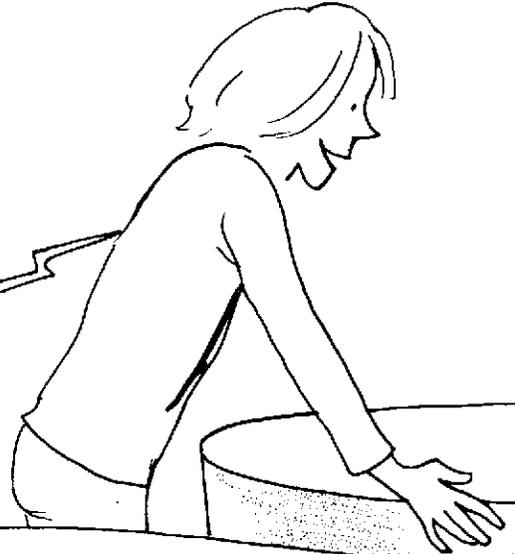


¿Qué están haciendo?  
¿Acaso están tratando de matar a alguien?



Nada de eso. Anselmo está intentando hacer tender un sistema hacia su estado de máxima probabilidad

Está claro. El mensaje es cada vez menos y menos legible. La **INFORMACIÓN** se degrada progresivamente



En otras palabras, he encontrado una solución para poder clasificar **CRONOLÓGICAMENTE** dos estados de un sistema aislado: el que tenga **LA ESTRUCTURA MÁS ORDENADA** es el más viejo

# inmoverse y volar

Como puedes ver, Anselmo, la difusión natural destruye progresivamente el mensaje que escribimos en el cielo

¿Cómo vas?

¡Mareado!

Pero no podemos descartar a priori la posibilidad de que las moléculas del colorante puedan reagruparse ellas mismas y recomponer el mensaje

Como no podemos excluir del todo tampoco que un afortunado golpe de martillo pueda volver a formar la cruz que tenías al comienzo

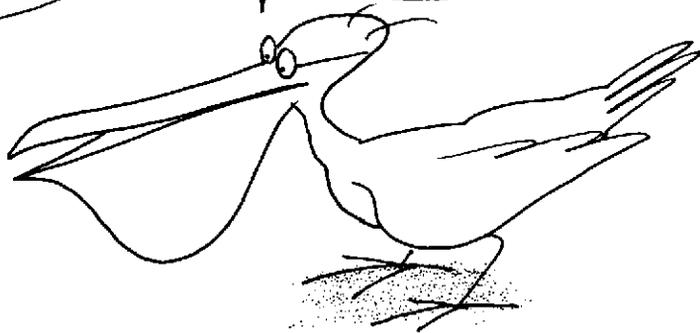
O que las moléculas de un colorante con la misma densidad que el agua puedan volver a formar la gota inicial

Sin embargo, como las probabilidades de estas eventualidades son ínfimas, las consideramos como despreciables

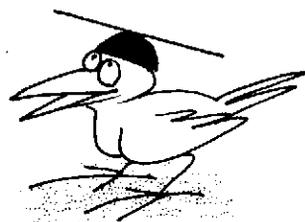
Pero entonces el universo corre irremediamente hacia el **CAOS**. Los helados de vainilla se derriten y las montañas se derrumban



Dicho en breve:  
**TODO SE VUELVE NADA**



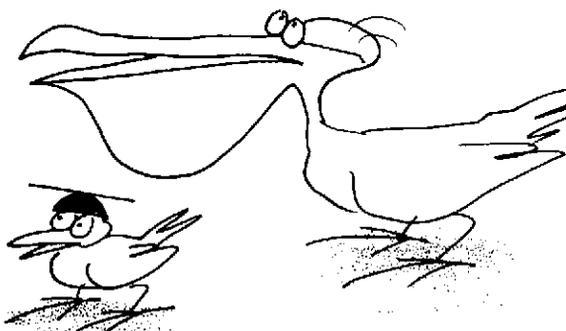
Por lo general vinculamos este fenómeno con el crecimiento irremediable de una cantidad llamada **ENTROPÍA**(\*)



Todo eso suena positivamente descabellado. Voy a prepararme un poco de té...



Pero parece aportar la respuesta.  
**MIDIENDO** la **ENTROPÍA** se pueden clasificar **CRONOLÓGICAMENTE** los estados de un sistema

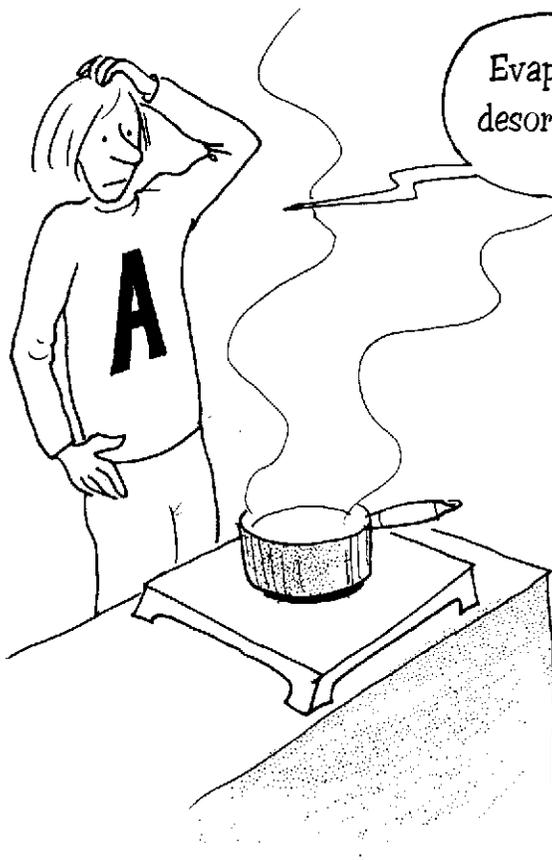


(\*) Si **P** es la probabilidad de un estado, la entropía es:  
 **$S = -P \log P$** , donde Log indica el logaritmo

# CÉLULAS DISIPATIVAS



¡Vaya! Cuando caliento agua aparece allí donde anteriormente no había nada un sistema de turbulencia en una malla hexagonal, eso sí siempre que el calentamiento sea homogéneo

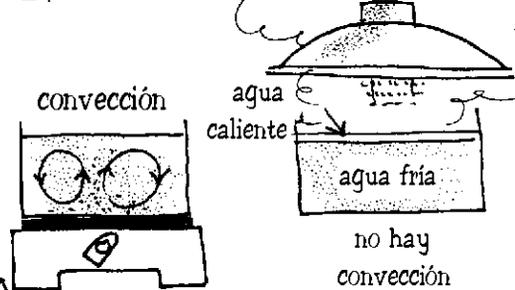
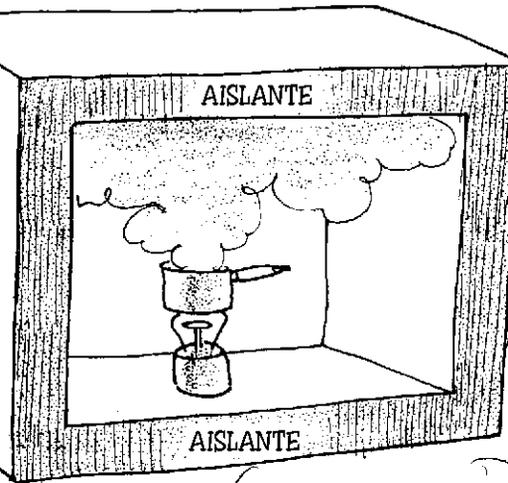


Evaporando esta agua creía estar creando desorden pero en cambio resulta que... ¡estoy creando orden!?!

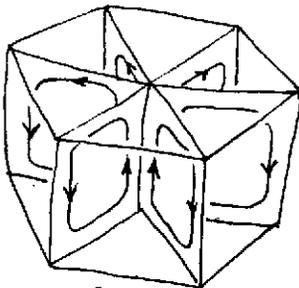
¿Significa eso que el agua hirviente tiene el poder de hacer disminuir la entropía?



Significa simplemente que la noción de **ENTROPÍA** vale sólo para el **ENSAMBLE DEL SISTEMA AISLADO**, representado aquí por estufa-olla-agua-atmósfera



Por otro lado, es del todo posible hacer evaporar toda esa agua sin torbellinos, sin movimientos convectivos, calentándola por radiación, por encima, con la ayuda de un simple radiador parabólico

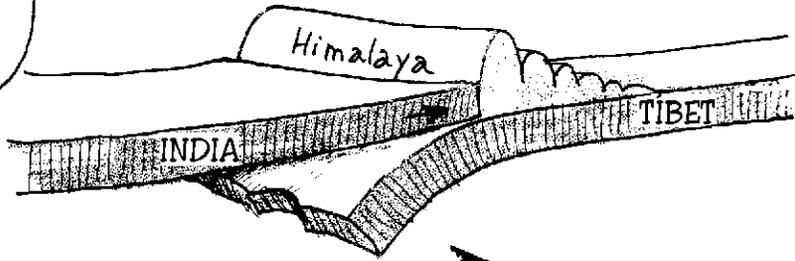


El retorno hacia lo **AMORFO** no es lo que caracteriza el crecimiento de la entropía de un sistema. Las **CÉLULAS DISIPATIVAS**, cuando aparecen, tienen como efecto acelerar la evaporación y el crecimiento entrópico global



Las montañas se derrumban por sí mismas, pero el agua transportada por las nubes acelera su erosión

Pero... ¿acaso no existen en la Tierra montañas en formación, como el HIMALAYA?



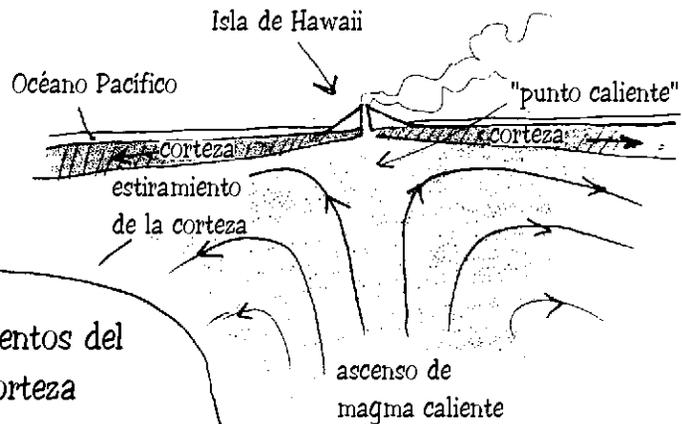
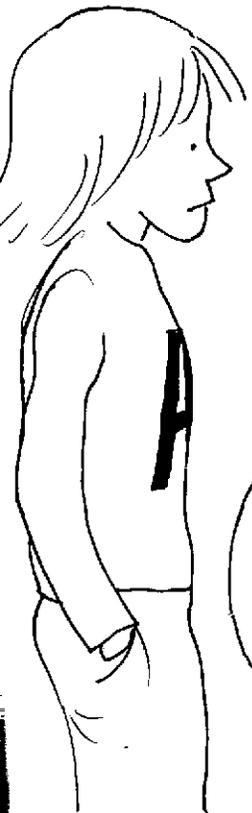
En efecto, decimos que la "placa hindú", chocando con el TÍBET, ha creado el relieve



Todo eso no es más que el resultado de corrientes convectivas que animan el **MAGMA** y que le ayudan a evacuar su calor central, calor que se mantiene debido a la desintegración del Uranio 235 primitivo



¿Quieres decir que hay celdas convectivas en el magma?



Así es, y dichos movimientos del magma empujan la corteza terrestre, la cual se fractura creando, por ejemplo, vulcanismo como el de las islas de Hawaii

Hmm, pues sí, cuando uno se corta y retira las costras, jamás llega a cicatrizar...

Vivimos en la cima de una marmita de tres dimensiones llamada Tierra

¡¿Cómo?!

Oye... todo eso es muy bonito, ¿pero quién fabricó el uranio?

Una estrella, antes de su explosivo fin, a medida que se transforma en SUPERNOVA (\*)

ESTRELLA

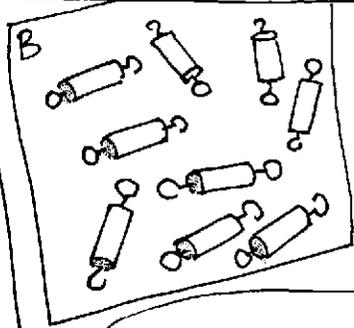
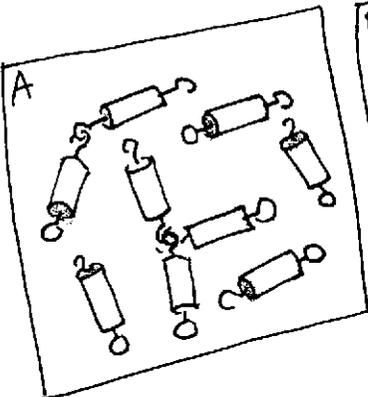
CALDERA CENTRAL

Las estrellas también son fuente de poderosas corrientes convectivas que transportan hacia la periferia el calor creado en el centro por la fusión del hidrógeno

La olla, la Tierra y la estrella solar funcionan ayudadas por una red de CELDAS DISIPATIVAS

# MORFOGÉNESIS

Anselmo, estos objetos estaban en una caja que sacudimos. ¿Podrías clasificar cronológicamente estas dos fotografías de su contenido?



Supongo que están en orden así como están. Al sacudirlas, han debido disociarse las estructuras de dos y tres elementos...

¿Qué estás haciendo?

Al parecer, aún no estoy seguro. Entonces la única solución es regresar a los experimentos



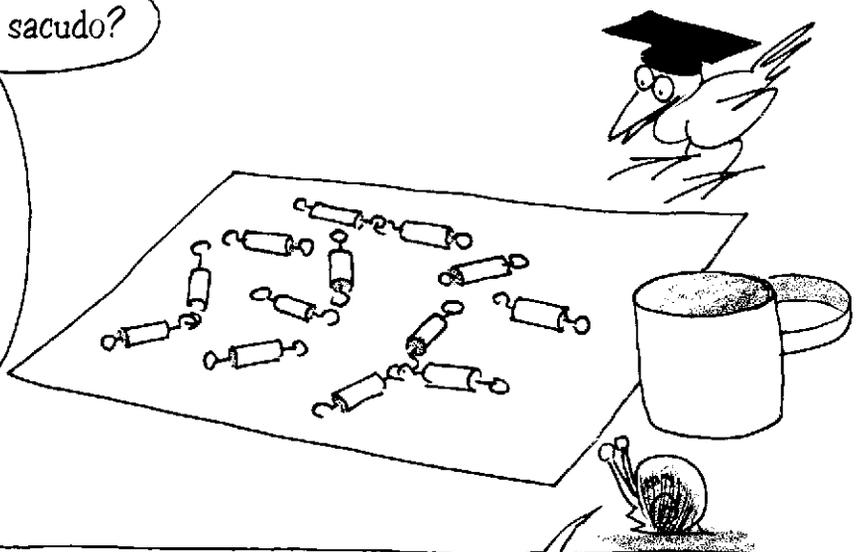
**MATERIAL :**

vara de madera

3cm

1cm

por lo menos 20 elementos



¡Vaya! ¡Anselmo ha hecho bien en repetir los ensayos, pues cada vez aparecen ensamblados nuevos de 2 y 3 elementos!



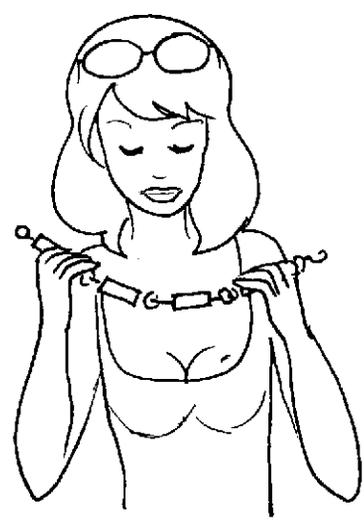
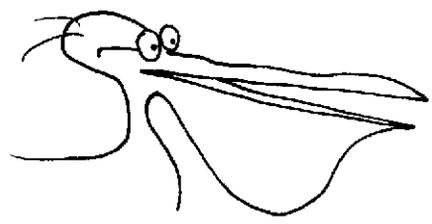
Eso quiere decir simplemente que, para este sistema particular, esa es la configuración **MÁS PROBABLE**



En cambio, es imposible crear una cadena de 5 elementos en serie

¡Y si introduzco esta estructura en la caja, al sacudirla desaparece!

Parece entonces bastante improbable que puedas llegar a sintetizar este "polímero mecánico"

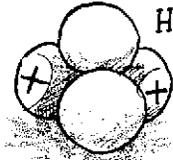


Ya sabes, la Naturaleza está hecha de tal forma que siempre que algo, en un instante determinado, sea **ALTAMENTE PROBABLE**, se producirá irremediablemente

Supongo que al revés también, si algo es muy improbable entonces no se producirá

Y cuando algo tiene un chance extremadamente pequeño de producirse durante toda la duración de la vida del Universo, entonces se lo considera **IMPOSIBLE**. Ja...

La formación de helio durante el **BIG BANG** era extremadamente probable. ¡Por eso el universo actual contiene tanto!

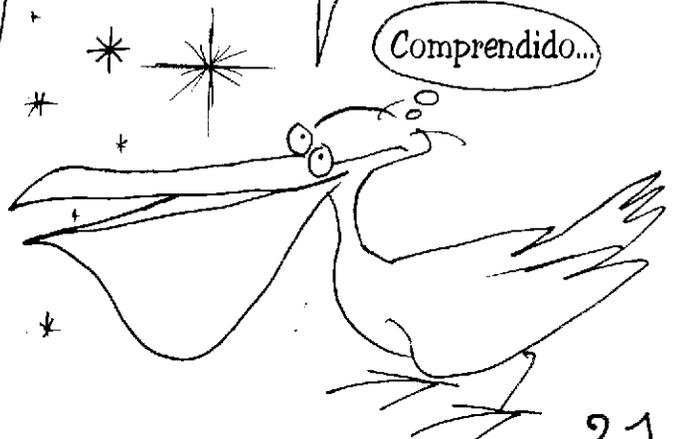


Helio

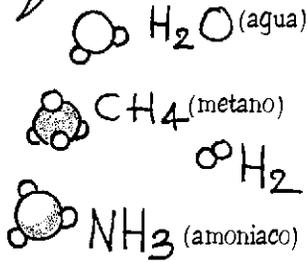
En cambio, a causa de la dilución extrema del medio galáctico se ha calculado que el Sol tiene un chance de uno en diez millones de toparse con otra estrella en el transcurso de los siguientes diez mil millones de años por venir

Así que consideramos ese **EVENTO** como una **IMPOSIBILIDAD**

Comprendido...

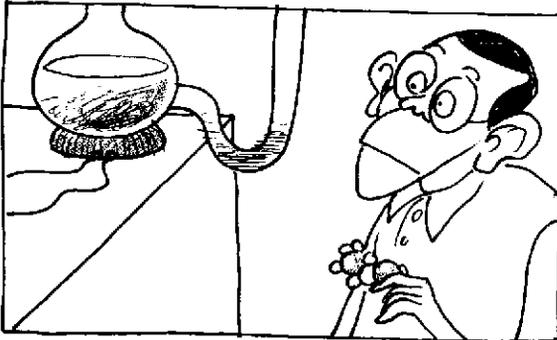


El vapor de agua, el metano, el amoníaco y el hidrógeno son algunas de las moléculas más simples, muy simétricas, comparables a tus mecanismos de hace un momento

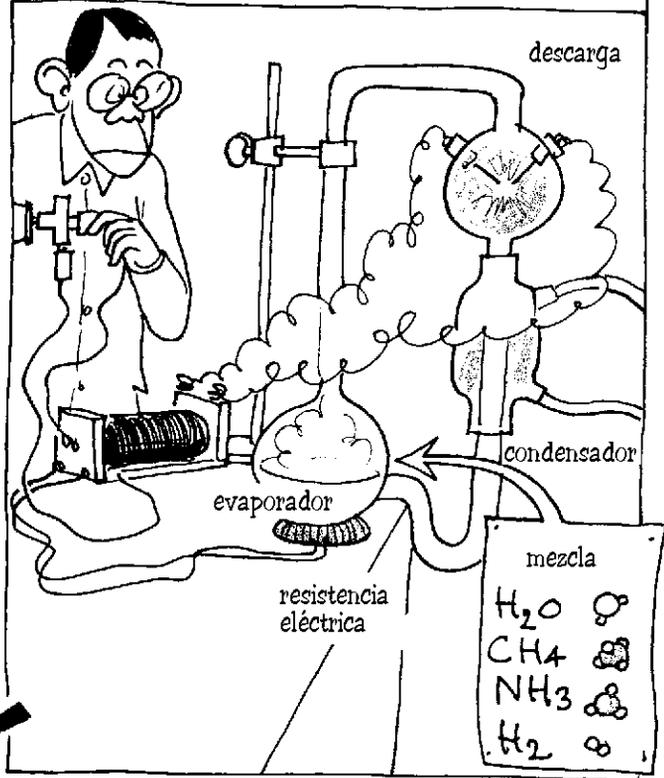


estas sustancias estaban presentes en la atmósfera primitiva de nuestro planeta

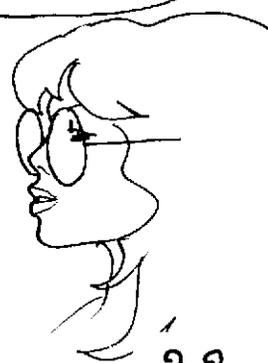
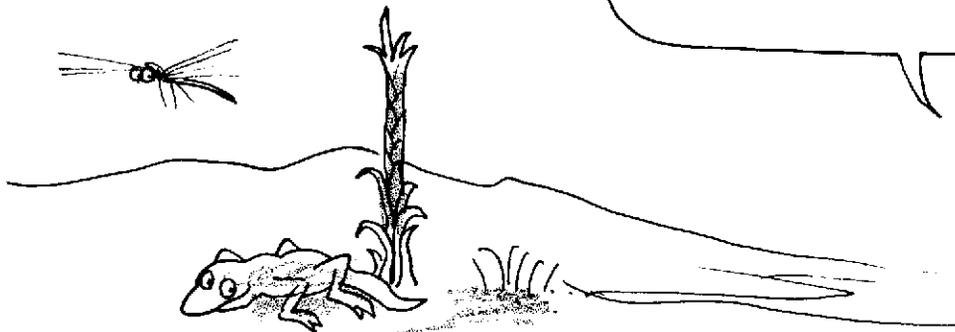
Al cabo de una semana la mezcla incolora se tornó anaranjada debido a la presencia de aminoácidos, moléculas conformadas por una quincena de átomos



En 1950 Miller, un joven estudiante, tuvo la idea de introducir estos elementos en un alambique y de "sacudirlos" usando una sencilla descarga eléctrica

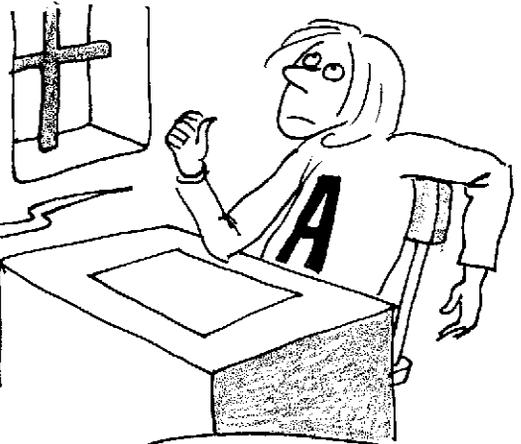


Dichas moléculas son a su vez los elementos constitutivos de las **PROTEÍNAS**, por lo que comienza uno a hacerse a la idea de que la **VIDA** debe ser un fenómeno no solamente probable sino en sí mismo **INEVITABLE** en un planeta como la Tierra

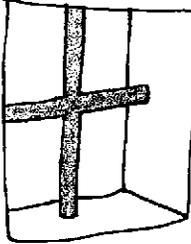


# ¿NEGUENTROPÍA?

Bien, recapitemos. Hay sistemas que simplemente tienden hacia el **DESORDEN**. Hay algunos que secretan **ESTRUCTURAS DISIPATIVAS** pero que, a fin de cuentas, llegan al mismo resultado



Pero además hay sistemas que tienden hacia el **ORDEN** y que hacen disminuir la entropía. Es decir, son **NEGUENTRÓPICOS...**



... Como este juego, el juego de la **VIDA**



¡Cómo tú digas! ¿Pero cómo has hecho para producir la energía gracias a la cual sacudiste la caja, o calentaste el alambique que provocó las síntesis moleculares?

¿Cómo ah...?



Ha sido necesario quemar petróleo, dejar descender el agua a lo largo de una tubería o "tostar" algunas moléculas de azúcar...



¿Y la VIDA, crees tú que es gratuita? ¿Qué es lo que hace brotar los árboles y madurar las manzanas?



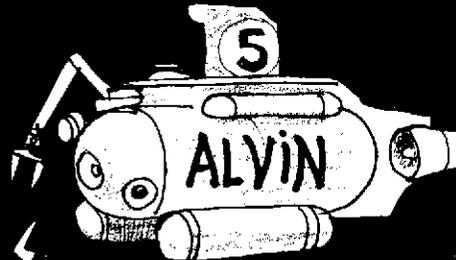
El Sol es el que suministra la energía. Es él el **MOTOR DE LA VIDA**



¡Muy bien, Tiresias!

Pero el sol no es siempre la fuente de energía del mundo viviente

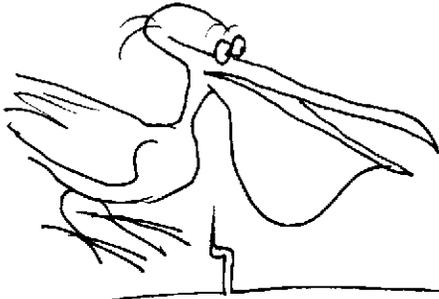
Es cierto. Si se considera el **ENSAMBLE DEL SISTEMA**, es decir la **BIÓSFERA**, más su soporte, el **BIOTOPO**, más la fuente de energía, el Sol, entonces la entropía global del sistema crece



En las fosas oceánicas, la vida funciona gracias a la energía de las fuentes submarinas de agua cálida

¿Y qué con eso? (\*)

Fíjate, ¿no será la **VIDA** más que una célula disipativa de más?



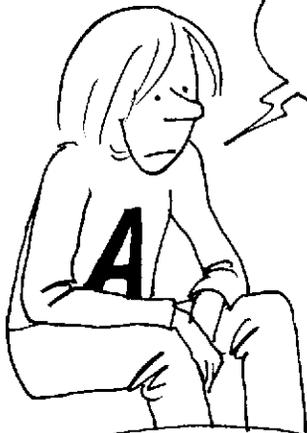
Bueno, al fin y al cabo la finalidad de todo lo viviente no es otra que la de disipar la energía

Si quieres que te diga la verdad, no hay aún una respuesta clara a esa cuestión



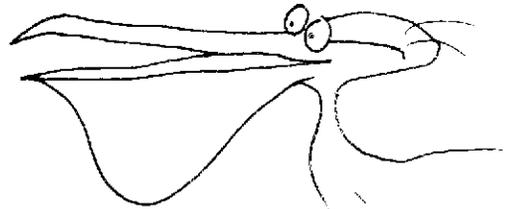
# ENTROPÍA

Entropía, tiempo, probabilidad, todo eso me da vueltas en la cabeza



Podría ser que retornando a los orígenes del universo, **CUANDO TODO COMENZÓ...**

**TODO** eso no tiene **NINGÚN SENTIDO**



(\*) Lo leerán en el "Biologicon", volumen de esta misma serie

¡La vida, los planetas, las estrellas, todo eso es demasiado complicado! ¿No habrá existido en el pasado una época en que el universo era más fácil de comprender?

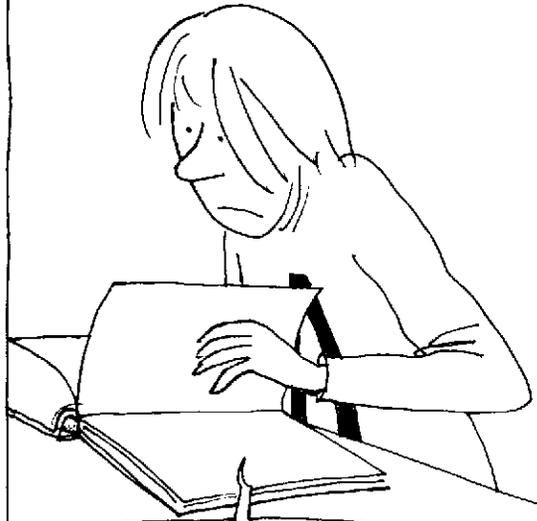


Pues consultemos la historia del universo tal cual ha sido escrita por los humanos

Veamos...  $t =$  cien millones de años. Eso corresponde al nacimiento de las galaxias. No, demasiado complicado todavía...



Ensayemos  $t = 100.000$  años

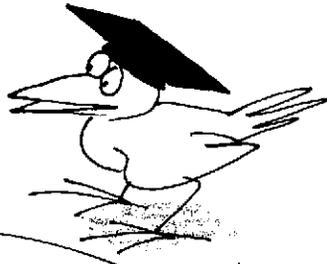


¡Vaya! ¡En esta época el universo era perfectamente homogéneo! (\*)

(\*) Ver "Mille milliards de soleils", en esta misma serie

¿Cómo puede evolucionar un universo perfectamente homogéneo, si en él no pasa **NADA**?

Las poblaciones homogéneas no tienen historia



¿Cómo puede transcurrir el tiempo dado que no existe la menor tendencia al desorden en ninguna parte, visto que el desorden es **MÁXIMO**?

Espera un momento, si pasa algo pues el universo se está **ENFRIANDO**

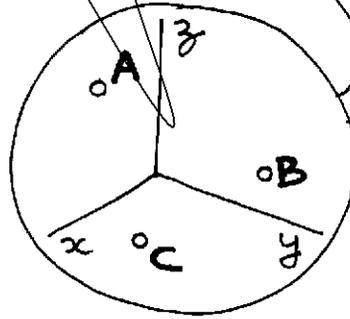
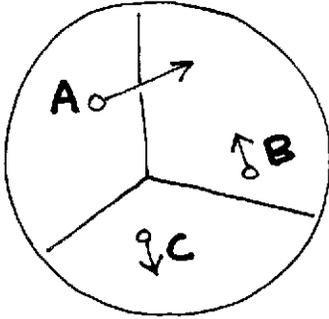


Para describir totalmente un sistema de partículas en un instante dado, se requieren los datos de sus posiciones así como los de sus velocidades

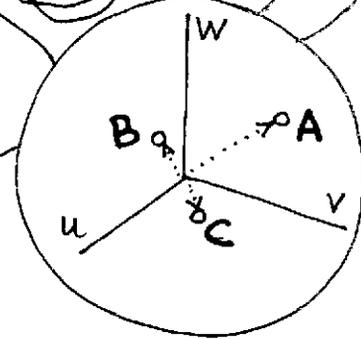
Sí, la **VELOCIDAD** también es una **INFORMACIÓN**



En lugar de usar las flechas, se pueden representar las partículas en dos espacios de 3 dimensiones: el **ESPACIO DE POSICIONES** y el **ESPACIO DE VELOCIDADES**

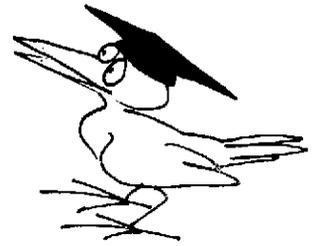


POSICIÓN

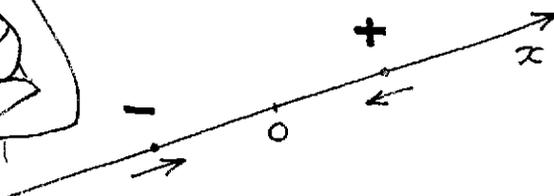


VELOCIDAD

Esta descripción completa, con la ayuda de las seis coordenadas, puede asociarse con un espacio de seis dimensiones llamado **ESPACIO DE FASES**



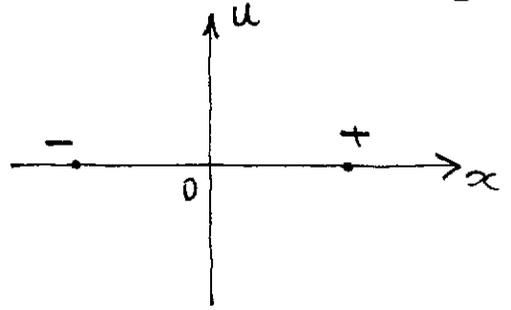
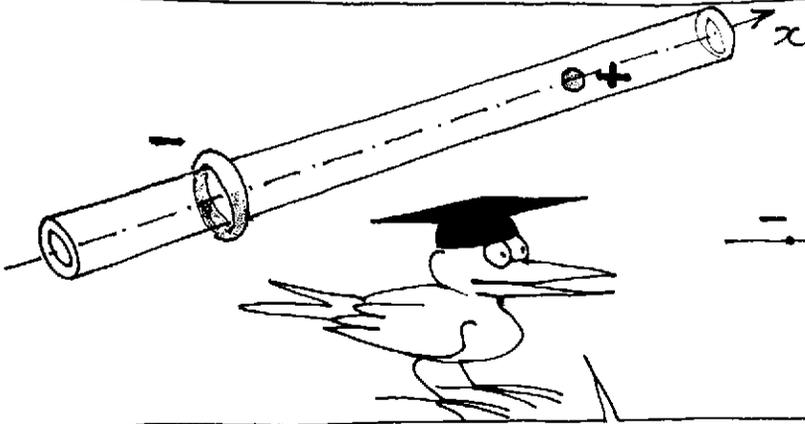
Simplifiquemos la situación al extremo. Consideremos un universo con una sola dimensión espacial (una línea recta) en la que objetos puntuales representan cargas eléctricas de cargas opuestas que se atraen mutuamente



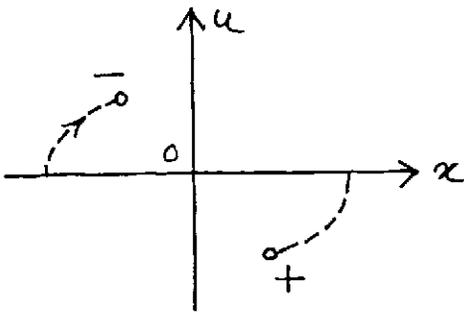
¿Pero cómo van a hacer para poderse cruzar?



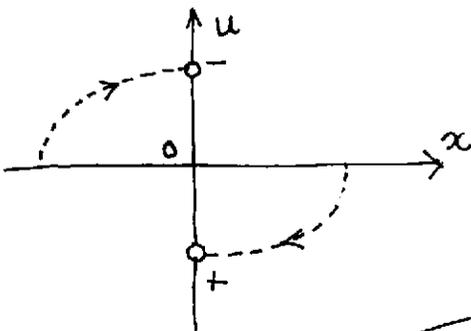
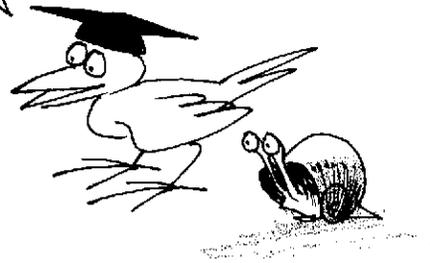
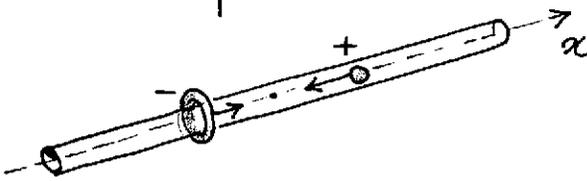
¡Cierto! No tenemos más que cargar positivamente una pequeña bolita de corriente en un tubo y negativamente un anillo, para el cual el tubo servirá de guía



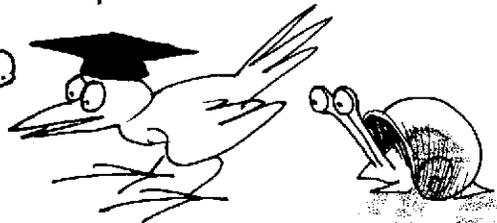
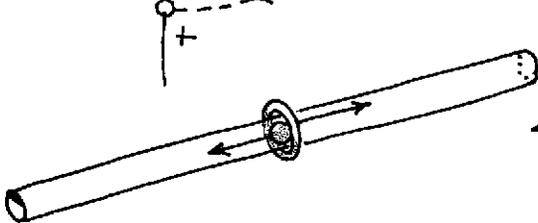
Si representamos este sistema en un ESPACIO DE FASES  $(x,u)$ , donde  $x$  es la coordenada de POSICIÓN y  $u$  la coordenada de VELOCIDAD, si inicialmente las partículas tienen velocidad cero, obtenemos el esquema siguiente

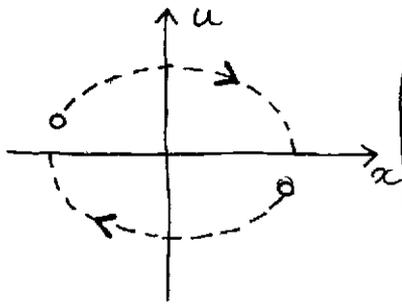


La atracción entre las partículas hace que empiecen a dirigirse la una hacia la otra

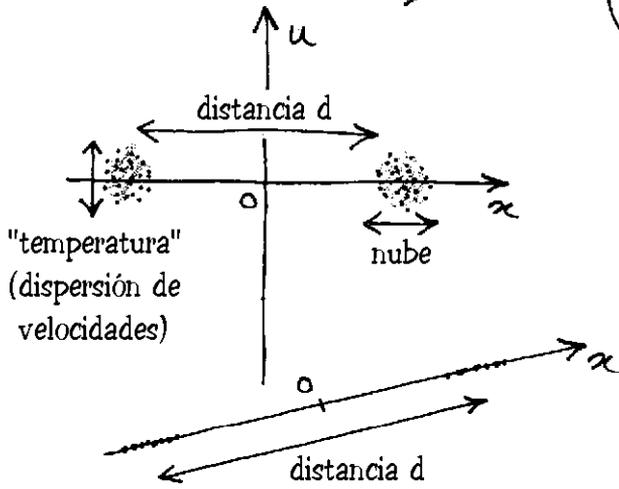


Aquí vemos cómo se cruzan a máxima velocidad



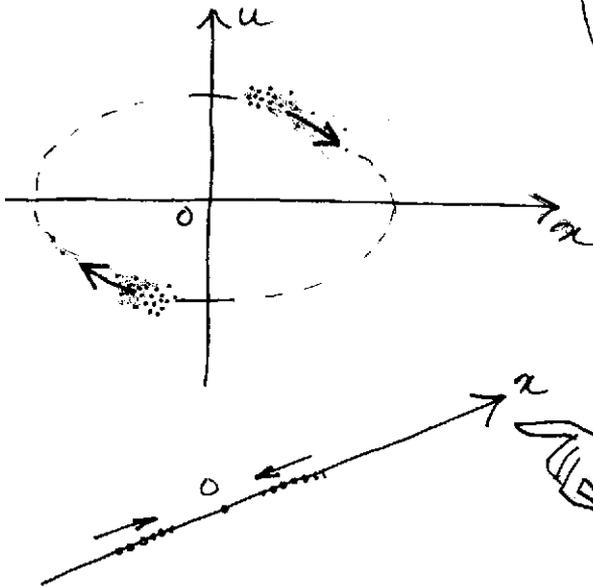


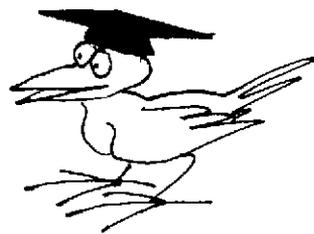
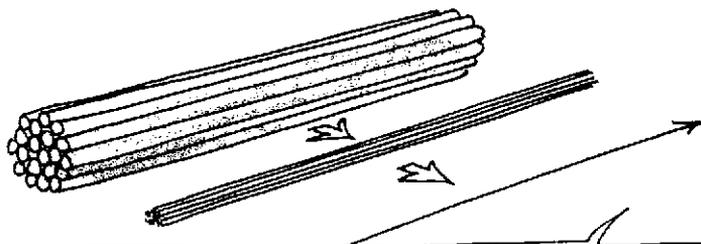
Este movimiento de viene y va, de oscilación de las cargas en torno a su centro de gravedad común, producirá en el espacio de fases trayectorias de tipo elíptico



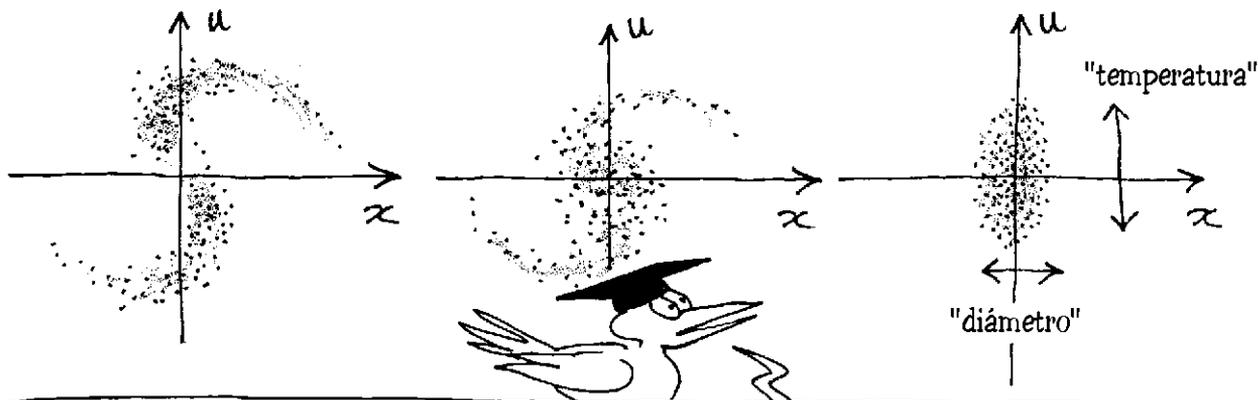
La figura muestra dos ensambles de partículas situadas a una cierta distancia, y con velocidad global cero (todas ellas cerca del eje x), pero con ciertas velocidades aleatorias de **AGITACIÓN TÉRMICA**

Dichos ensambles se van a dirigir el uno hacia el otro bajo el efecto de su atracción mutua



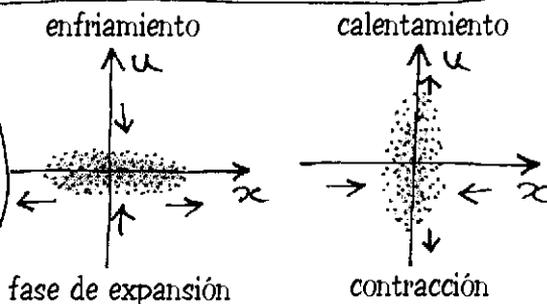


Técnicamente, podríamos permitir que las partículas se cruzaran sin chocar canalizándolas por tubos muy delgados

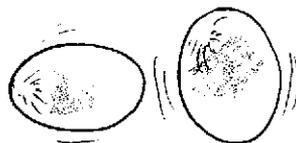


Las dos nubes se amalgaman en una nube única. La **ENERGÍA CINÉTICA** adquirida se distribuye aleatoriamente y el resultado es un "calentamiento", un despliegue en la dimensión de velocidad  $u$ . En conjunto, la superficie ocupada por todas las partículas habrá aumentado. Dicha superficie representa la **ENTROPIA** del sistema

El sistema va a oscilar, siendo su movimiento de **EXPANSIÓN** sinónimo de una disminución de la velocidad (de agitación térmica), de la **TEMPERATURA**. Un proceso inverso se da en la **contracción**



Como una pompa de jabón en dos dimensiones



Pero entonces las oscilaciones de esta extraña ameba, habitante del **ESPACIO DE FASES**, se realizan a área constante, a **ENTROPIA CONSTANTE**(\*)

(\*) En el ejemplo escogido las partículas no se reencuentran

# PRIMERA PARADOJA COSMOLÓGICA

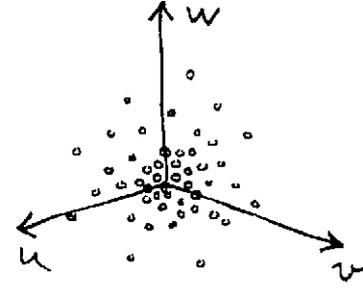
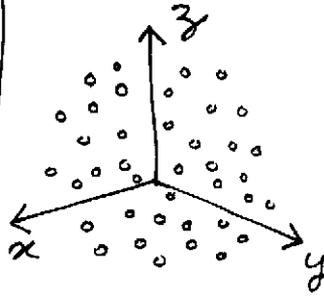


(\*) Ver "LE GÉOMÉTRICON", en esta misma serie

Para representar este **ESPACIO DE FASES** en 6 dimensiones (3 para la posición y 3 para la velocidad), basta con "partirlo" en dos representaciones tridimensionales

**ESPACIO DE POSICIONES**

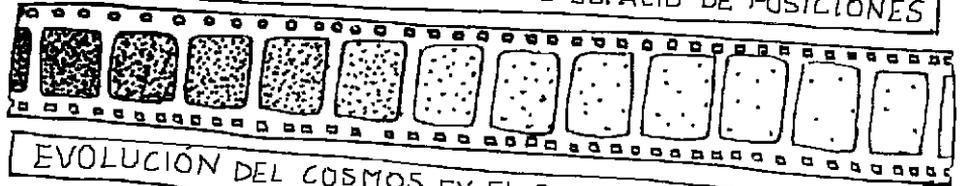
**ESPACIO DE VELOCIDADES**



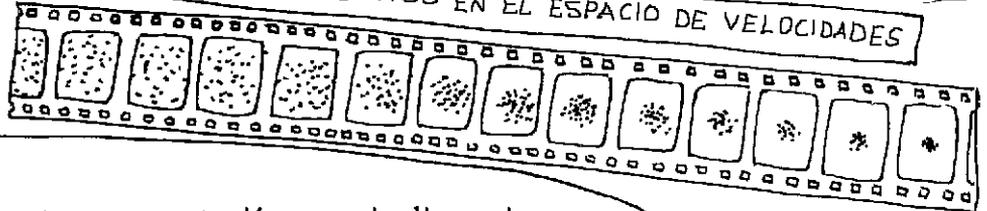
En el **ESPACIO DE POSICIONES** el Universo se diluye y esta dispersión es sinónimo de **DESORDEN**. A la inversa, las velocidades de agitación disminuirán. En esta representación, en el **ESPACIO DE VELOCIDADES** el Universo, por el contrario, se contrae, lo que se traduce en una tendencia al **ORDEN**



**EVOLUCIÓN DEL COSMOS EN EL ESPACIO DE POSICIONES**



**EVOLUCIÓN DEL COSMOS EN EL ESPACIO DE VELOCIDADES**



Globalmente, en esta representación en seis dimensiones la **ESTRUCTURA DE ORDEN** del universo permanece invariante. La **ENTROPIA**, que es el logaritmo del **HIPERVOLUMEN**, es decir el producto del volumen en el espacio de posiciones por el volumen en el espacio de velocidades, no varía (\*)



¡En otras palabras, en esta representación en 6 dimensiones el cosmos resulta ser un fluido incompresible!

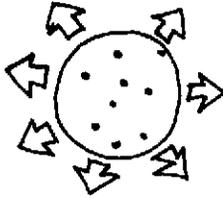


(\*) Es el teorema de **LIUVILLE**, matemático francés (1802-1882)

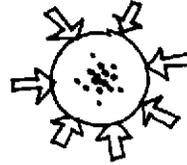


O también podemos decir que se dilata por el lado de las **POSICIONES**, mientras que enmagrece por el lado de las **VELOCIDADES**

ESPACIO DE POSICIONES



ESPACIO DE VELOCIDADES



Pero, según vimos, como el **SEGUNDO PRINCIPIO** dice también que **LA ENTROPÍA CRECE CON EL TIEMPO**, ¿cómo puede haber entonces una **EVOLUCIÓN DEL COSMOS A ENTROPÍA CONSTANTE?**

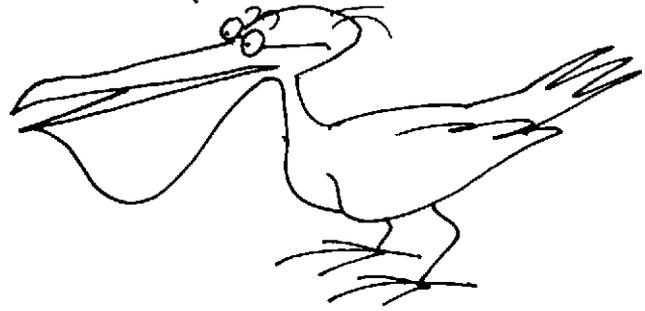
En efecto, esa paradoja es una de las debilidades de los modelos cosmológicos clásicos

Además, es de lo más cósmico ¡ji, ji!



En resumen, eso es porque no son modelos resultado de cálculos muy eruditos, como el **MODELO COSMOLÓGICO ESTÁNDAR**, que es automáticamente coherente

¿Pero acaso la ciencia no tiene elementos de respuesta para aportar, un atisbo de teoría, no importa cuál?



Por desgracia esas inmensas planicies temporales recorridas a entropía constante son una de las debilidades de nuestra visión del Universo

Entonces el tiempo pasa sin que sepamos por qué.  
¡Vaya mundo!

Y no me habían dicho nada

Tampoco yo conocía esta paradoja. Si bien es cierto que son cosas que los científicos no andan gritando por ahí

Aunque... a veces lo hacen mal

Además, no sólo esta ENTROPIA se conserva a lo largo del tiempo, sino que encima de todo es **MÁXIMA**, habiendo llegado al tope del **DESORDEN** en el **BIG BANG**



# SEGUNDA PARADOJA COSMOLÓGICA

Bueno, la cosa no parece difícil: lo que crea y mantiene el desorden en un sistema de partículas, en un FLUIDO como el FLUIDO CÓSMICO PRIMORDIAL, son las COLISIONES

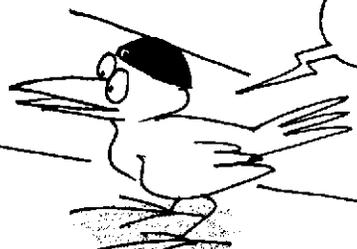
Sí, eso está claro: el universo primitivo tuvo que ser fuertemente COLISIONAL

De ahí el DESORDEN ORIGINAL, creado y mantenido, que aún se observa actualmente (\*)

(\*) El universo es, en efecto, extremadamente HOMOGÉNEO en todas las direcciones del espacio.



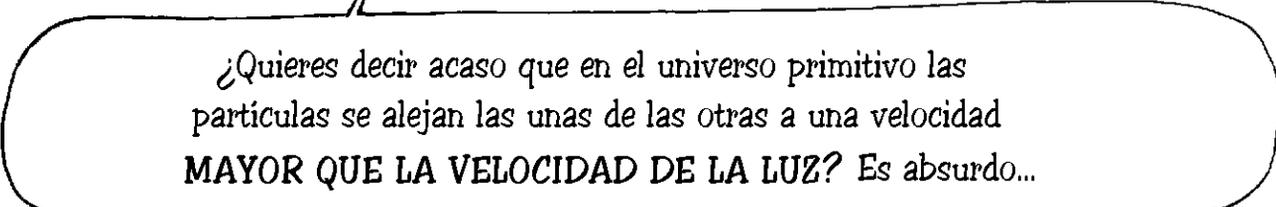
Desafortunadamente se encuentra exactamente lo INVERSO: el universo primitivo tuvo que ser perfectamente NO COLISIONAL



¿Qué quieres decir?



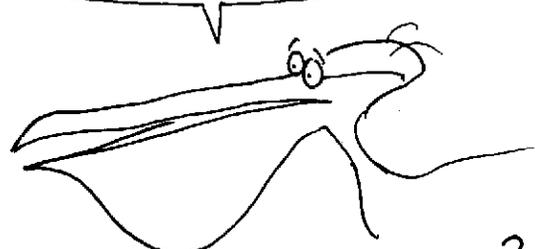
Bueno, el universo primitivo es como un billar que se dilata, pero se dilata tan rápido que las partículas no se pueden volver a encontrar (\*), más aún teniendo en cuenta que viajan a la VELOCIDAD DE LA LUZ



¿Quieres decir acaso que en el universo primitivo las partículas se alejan las unas de las otras a una velocidad MAYOR QUE LA VELOCIDAD DE LA LUZ? Es absurdo...



Sí, lo sé...



Déjala, Tiresias, en este caso es mejor que no insistas

(\*) Ver Anexo B

Después de todo, Dios pudo crear el universo homogéneo, ¿no?

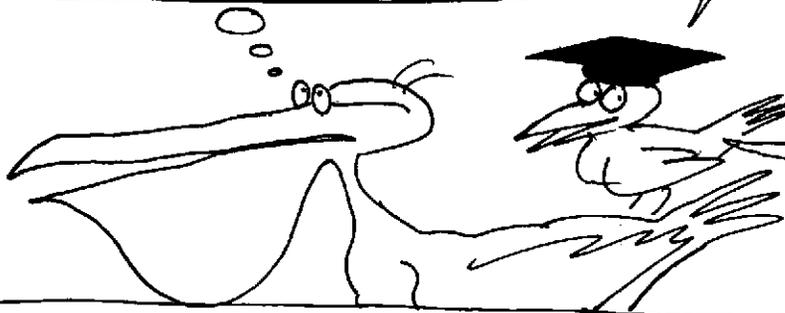


¡Uh la lá, cuando en ciencia se comienza a apelar a Dios como ayuda, es que las cosas no van nada bien...!



Es curioso. En estas historietas, hasta ahora, todo iba bastante bien. Y en esta todo parece estar patas arriba...

Lo apropiado parece ser ir a desentrañar claramente el **ORIGEN DEL UNIVERSO**



Tal vez la clave del misterio se encuentre allí...

Basta con leer al revés el **GRAN LIBRO DEL UNIVERSO** hasta remontarse a la primera página

¿Quieres decir al prefacio, allí donde el autor explica lo que está por venir?



Entre más se remonta uno al pasado,  
más caliente está el universo, y  
mayores son las velocidades de agitación  
de las partículas (\*)



Según el **MODELO ESTÁNDAR**, luego  
del primer centésimo de segundo, todas  
las partículas iban prácticamente a la  
velocidad de la luz



Pero espera un momento... Según la  
**RELATIVIDAD RESTRINGIDA**, a medida  
que uno se acerca a la velocidad de la luz,  
el tiempo se altera... ¿verdad? (\*\*)

Más precisamente, una partícula  
que viaja a la velocidad de la luz  
puede vivir una infinidad de  
eventos en un lapso de tiempo...  
¡cero!



¿O sea que el tiempo se "congela"  
como el mercurio en un termómetro?



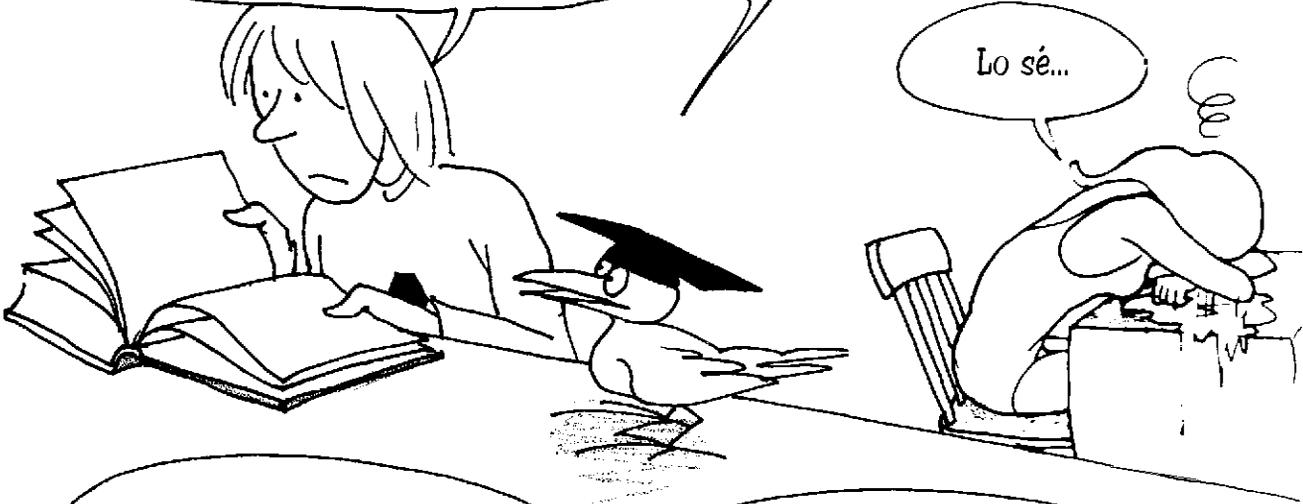
(\*) La **TEMPERATURA** de un gas no es otra cosa que la  
medida de la energía cinética promedio de agitación  
térmica  $\frac{1}{2}mV^2$ . Ver "Si on volait?", en esta misma serie.

(\*\*\*) Ver "Todo es relativo", en esta misma serie.

Tal como lo sospechaba: a medida que hojeo este libro para remontarme al **COMIENZO**, sus páginas se vuelven cada vez más **DELGADAS**

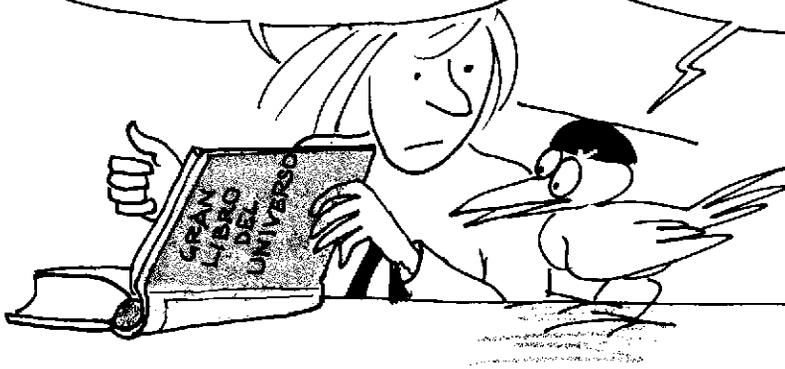
De hecho, hay que remontarse una infinidad de páginas para remontarse al principio del principio

Lo sé...



¿Pero qué significa entonces este último trozo de tiempo de un centésimo de segundo a partir de  $t = 0$ ?

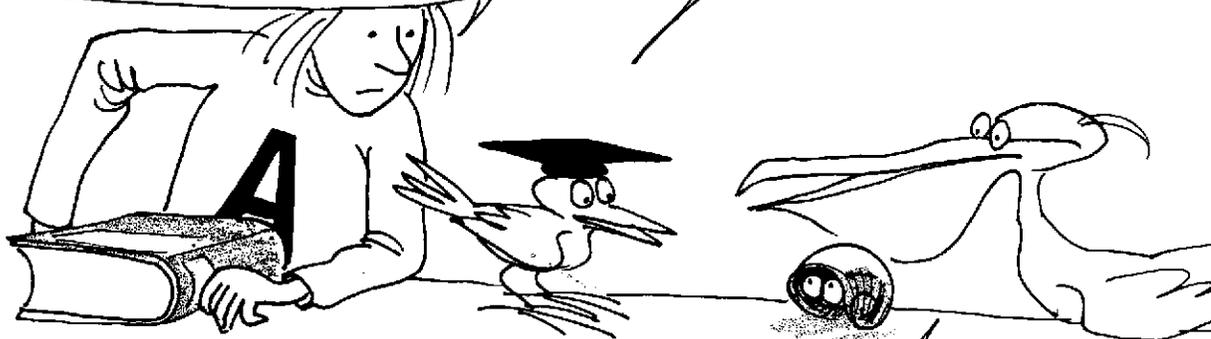
Creo que no significa realmente mayor cosa y que debemos verlo más bien como **UNA INVENCIÓN DEL ESPÍRITU**



¿Quieres decir con eso que es **FÍSICAMENTE** imposible remontarse al **ORIGEN DEL TIEMPO** y más aún, ir más allá?

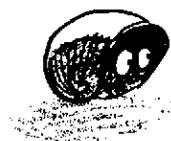
Si, para cruzar las vecindades de esos sargazos espaciotemporales, haría falta un vehículo (y un observador) hechos de materia ordinaria

¡Ahora bien, en las cercanías de  $t = 0$  todo lo que existe se mueve a la velocidad de la luz!



Pero... ¿cómo es esto de que podemos imaginar algo pero no podemos realizarlo físicamente?

Para mí que el tal **BIG BANG** es un fantasma de los científicos...



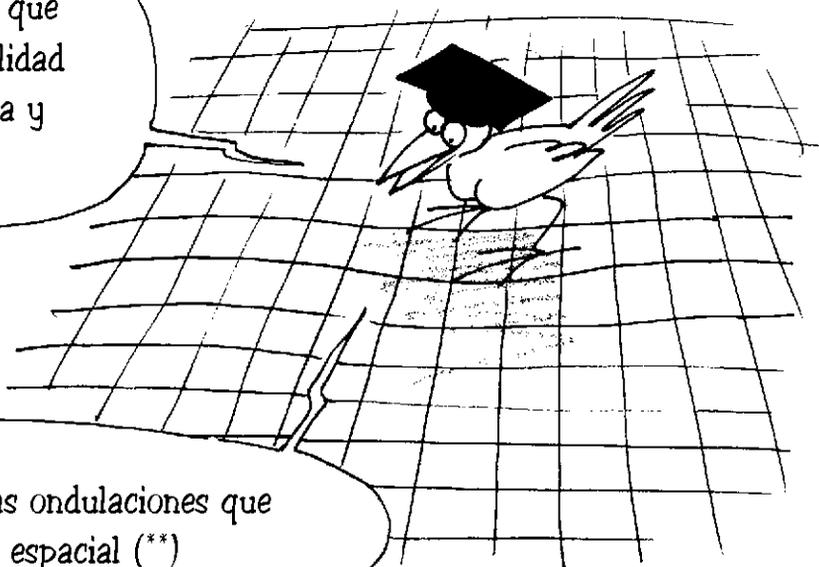
En resumen, según los modelos actuales el universo habría nacido en un instante **DESPROVISTO DE SENTIDO**. No sabemos por qué estaba en un tal **CAOS** ni por qué ese estado perduró. Como su evolución se realiza desde entonces de manera isentrópica, el hecho de que el tiempo pase es un completo misterio

Vuelve y juega

# TERCERA PARADOJA COSMOLÓGICA



Según el inglés DIRAC (\*), lo que llamamos VACÍO sería en realidad una extraña mezcla de materia y de antimateria

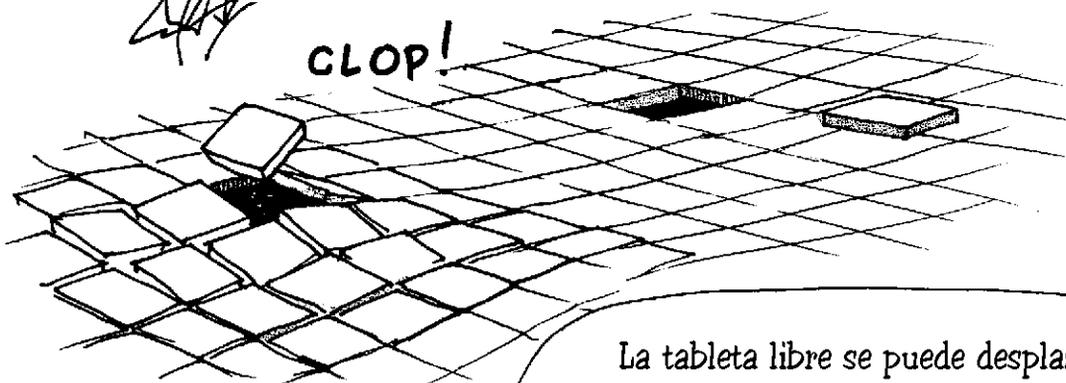


Y los FOTONES serían las ondulaciones que agitan este tejido espacial (\*\*)

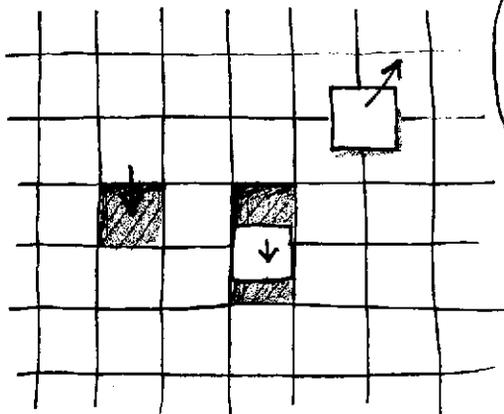
Cuando dos oscilaciones suficientemente fuertes se encuentran, una tableta se desprende. La tableta liberada es sinónimo de materia y el vacío que deja lo es de antimateria



CLOP!



La tableta libre se puede desplazar pero también el hueco, gracias a los movimientos de las tabletas adyacentes, como en un juego de puzzle



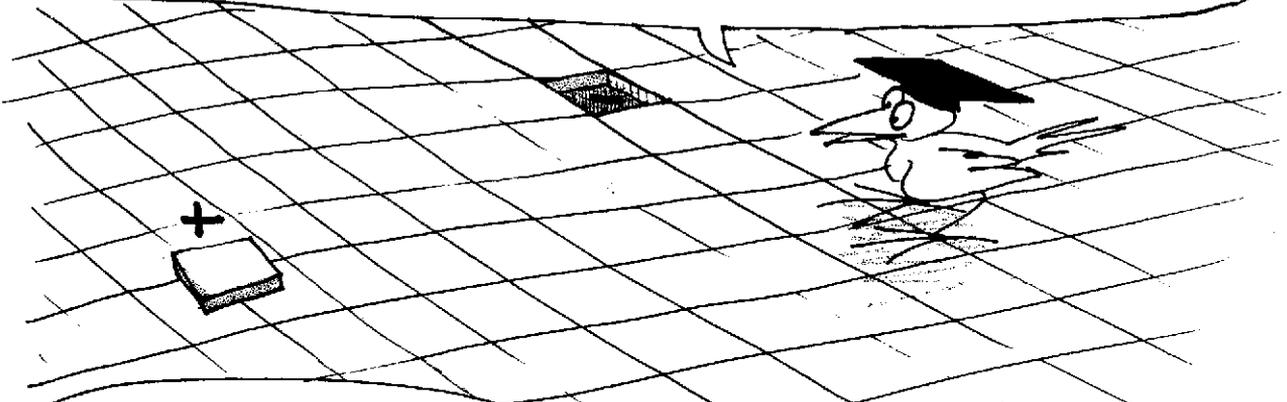
(\*) P.A.M. Dirac (1902-1984), físico inglés ganador del Nobel en 1933 (Ndt).

(\*\*) Ver el volumen "Big Bang", en esta misma serie.

En el momento del **BIG BANG** la turbulencia del tejido cósmico (la temperatura) era considerable. Las tabletas no se mantenían en su lugar, sino que se separaban y se juntaban sin cesar, en un tremendo desorden



Cuando la temperatura bajó lo suficiente (\*) prácticamente todas las tabletas volvieron a sus emplazamientos libres. Todas... salvo una en mil millones, de manera que los pliegues que tanto agitaban el tejido cósmico se debilitaron hasta el punto que fueron incapaces de retirar nuevas tabletas

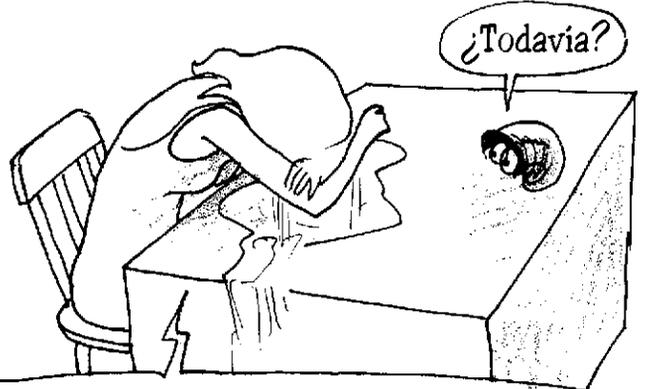


... El peligro de una aniquilación completa era grande. Como la materia y la antimateria poseían cargas eléctricas contrarias, eran de hecho atraídas fuertemente la una a la otra



(\*) Al filo de los 13 segundos, la temperatura del universo no era superior a los tres mil millones de grados centígrados

Bien, es sencillo. Tal como lo dijo antes Sofia, el brutal fenómeno de la expansión separó estas dos hermanas enemigas, evitando que se destruyeran entre ellas

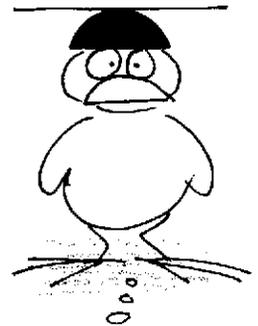


Si, pero mientras tanto el universo entraba en un régimen de colisiones. Si tenía galaxias de materia y otras de antimateria, estas se volverían a encontrar de tiempo en tiempo

Ese encuentro produciría un ruido tal de radio que se oiría de un extremo a otro del universo



Ahora bien, no se ha descubierto tal aniquilación materia-antimateria



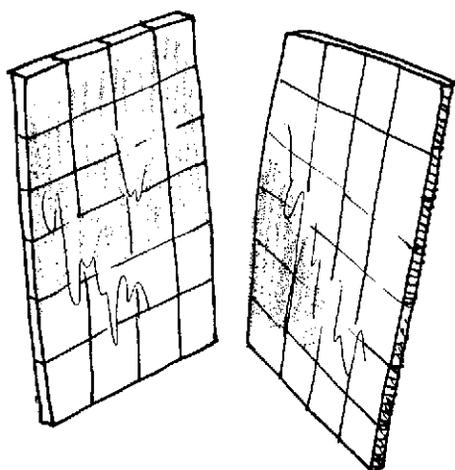
Angustiante...

Si he comprendido bien,  
entonces es un milagro  
que existamos

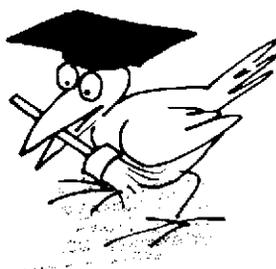
¡Tiresias, te lo suplico, no te  
aproveches de la situación!

Por pura lógica, si la antimateria no  
está en nuestro universo, entonces  
debe estar en otra parte

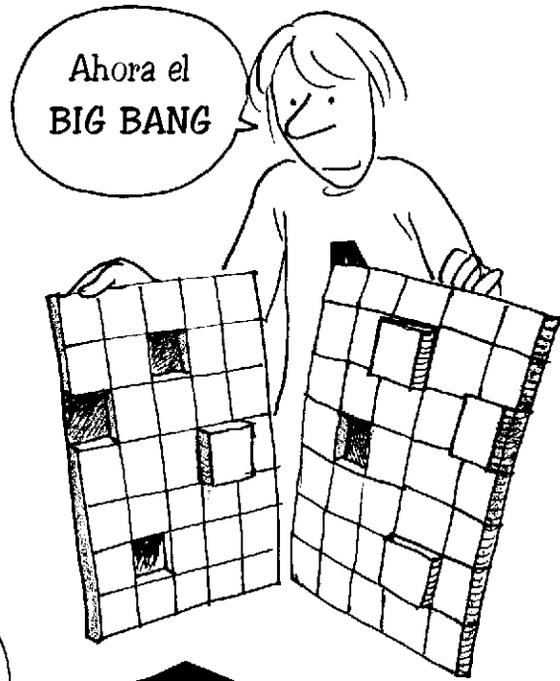
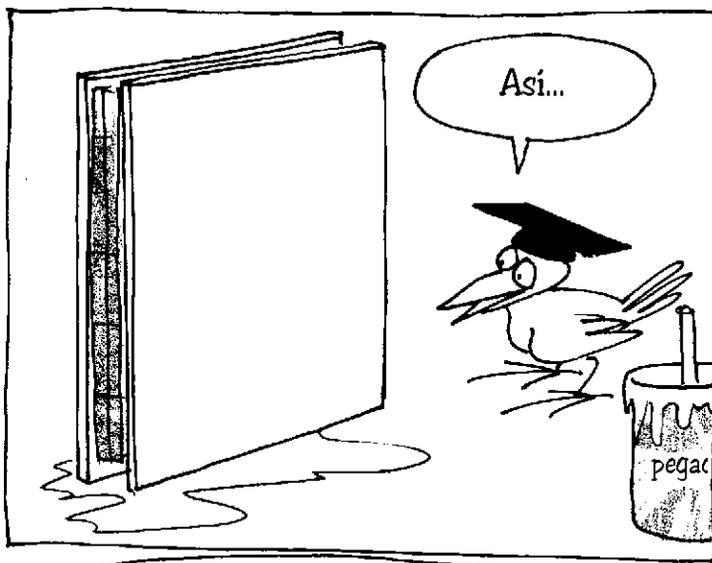
# TEORÍAS DE A. SAKHAROV Y DE J.P. PETIT \*



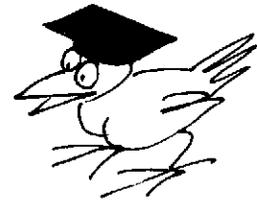
Supongamos dos universos  
reunidos y pegados uno a otro en  
el instante inicial



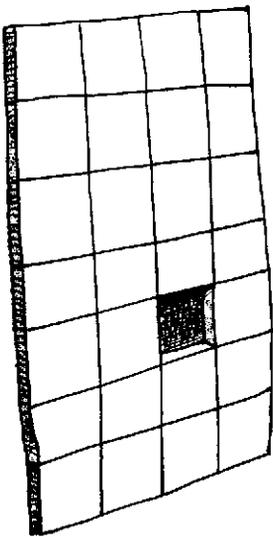
(\*) Ver J.P. PETIT: "Universos enantiomorfos con tiempos propios contrarios"  
y "Universos en interacción con su imagen en el espejo del tiempo", en:  
Comptes Rendus de L'Academie des Sciences de Paris, tomo 284 (23  
mayo 1977) serie A p. 1315 y tomo 284 (6 junio 1977) p. 1413.



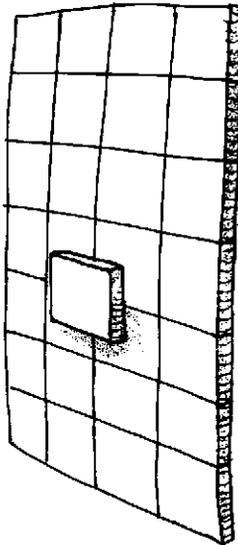
Separando las hojas se podrá encontrar que en cada pavimento de universo ciertas tabletas estarán arrancadas y otras estarán un tanto salidas



En cada uno de estos universos las tabletas salidas van a alojarse en los emplazamientos libres. Si la situación es perfectamente simétrica, deberá recobrase la planitud inicial

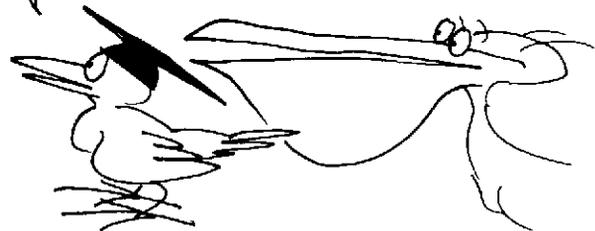


ANTIUNIVERSO  
(antimateria)

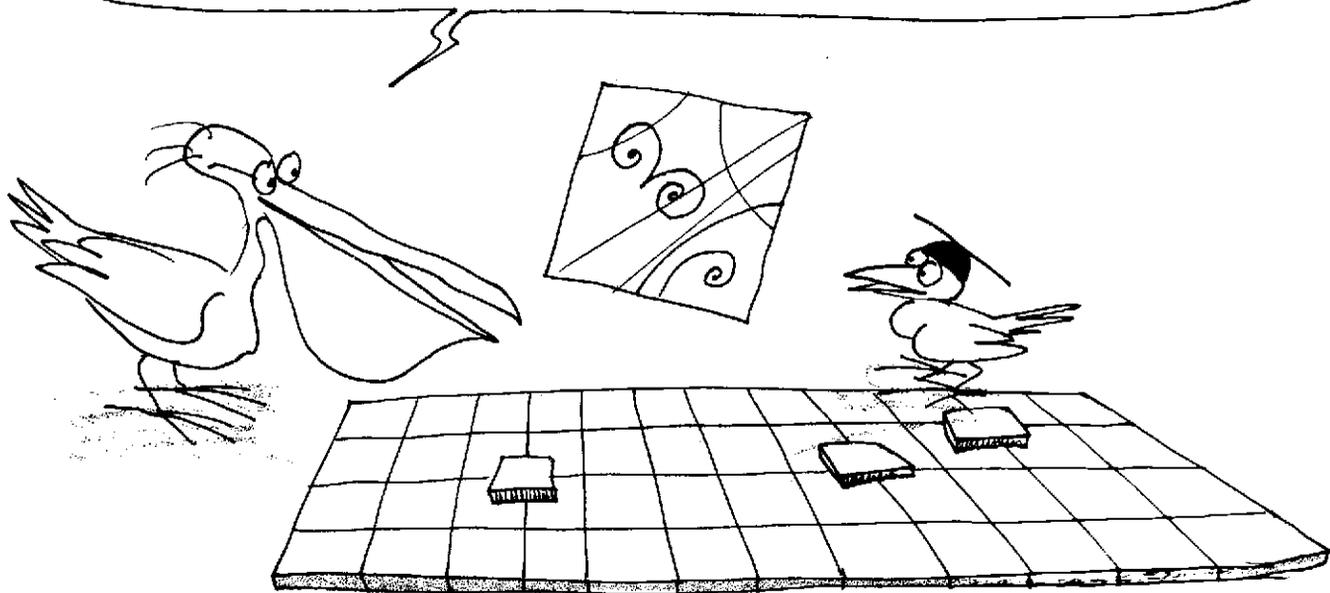


UNIVERSO  
(materia)

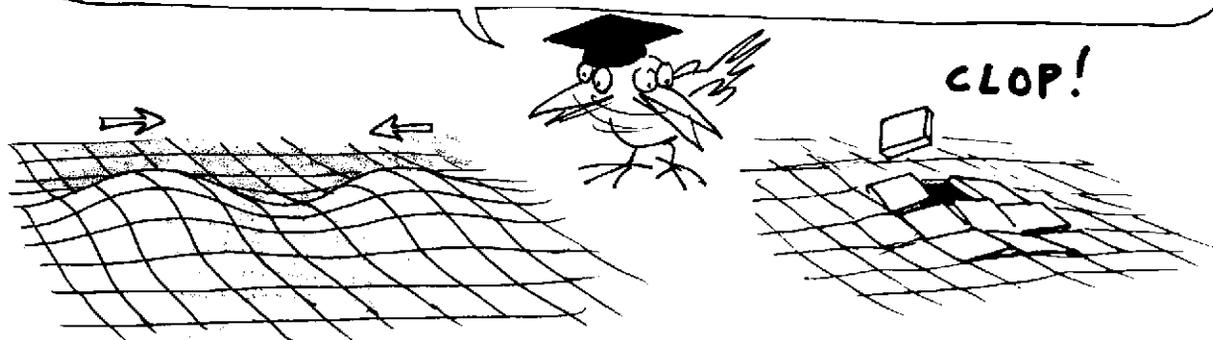
Por el contrario, si se produce una **RUPTURA DE SIMETRÍA** habrá un exceso de materia en uno de los dos universos y un exceso de antimateria en el otro que podrán aniquilarse



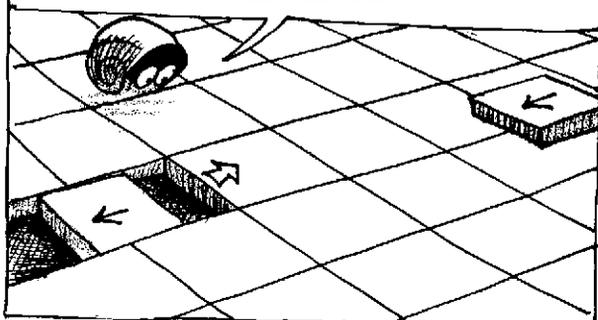
¿Pero a qué corresponde la antimateria, descubierta en los rayos cósmicos poco después del descubrimiento de Dirac, o aquella que se fabrica en los laboratorios?



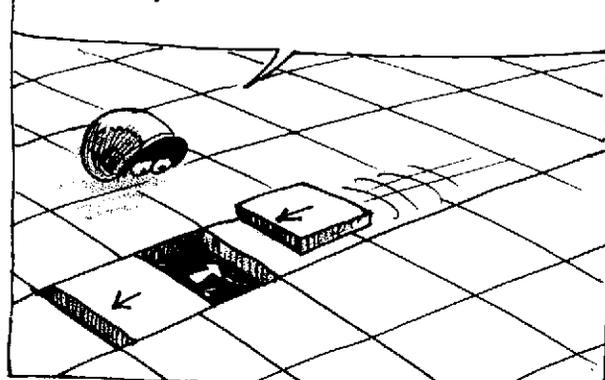
Nada nos impide creer, como se muestra aquí abajo, que fuertes concentraciones de energía en los grandes aceleradores de partículas logren desempotrar una nueva tableta, es decir crear un PAR materia-antimateria



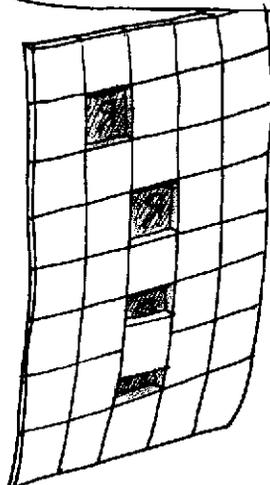
Claro que si no tienes precaución para mantener alejada esta antimateria de toda materia...



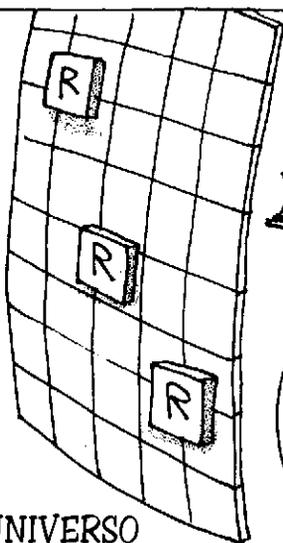
... se aniquilará con ella inmediatamente



Andrei Sakharov utiliza esta visión gemelar para explicar la aparente ausencia de antimateria en nuestra "porción" de Universo



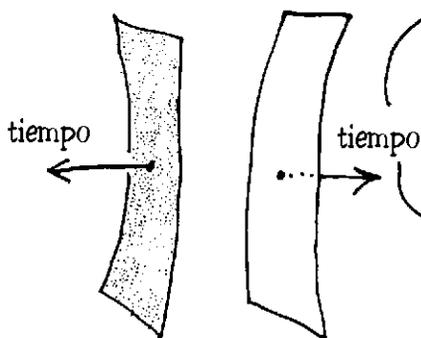
ANTIUNIVERSO



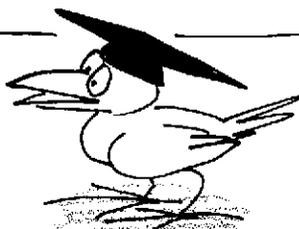
UNIVERSO



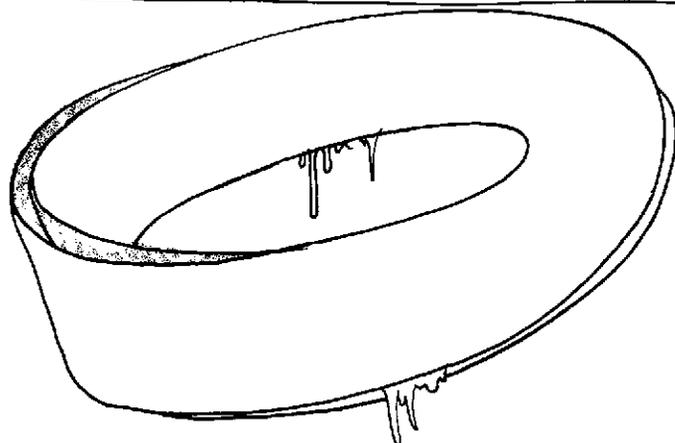
Los dos **UNIVERSOS GEMELOS** tienen **PARIDAD** contraria (ruptura de simetría **DERECHA-IZQUIERDA**)

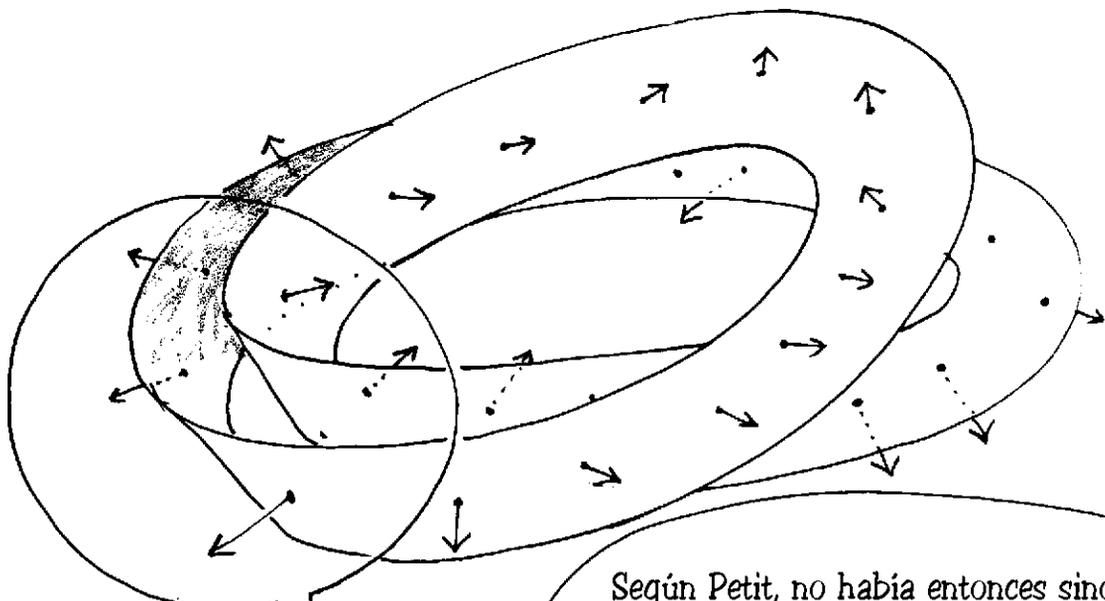


Además las **FLECHAS DEL TIEMPO** estarán en oposición, estando el futuro de uno de los universos en el pasado del otro

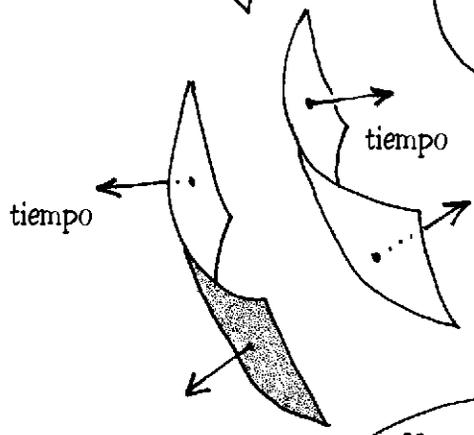


El mismo camino tomó en 1977, independientemente, Jean-Pierre Petit. Según él, inicialmente no había sino un solo universo pegado consigo mismo a lo largo de una "cinta de Moebius en tres dimensiones"

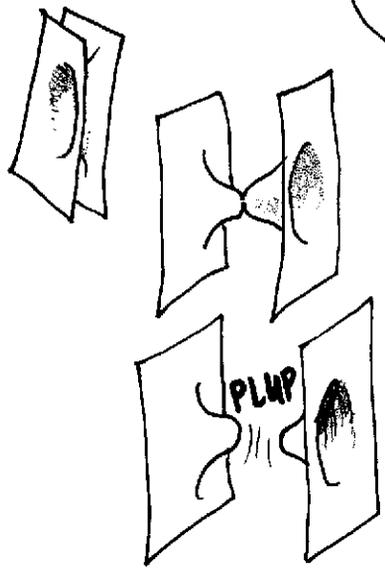




Según Petit, no había entonces sino una sola flecha del tiempo y habrían sido los caprichos de la geometría del espacio-tiempo (\*) los que crearon la ilusión de **ESTRUCTURA GEMELAR**



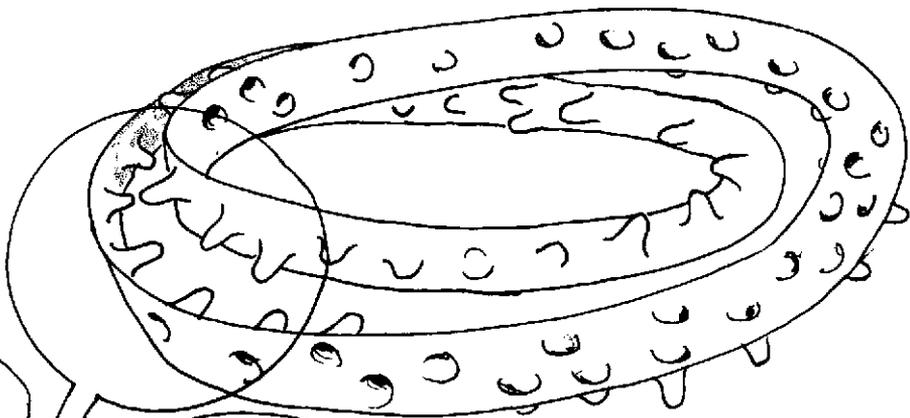
Y no habría existido más que una sola especie de materia, no siendo la antimateria, según palabras del abad Lemaître, más que la materia "vista al revés"



Estas aquí no serían más que deformaciones residuales de curvatura perfectamente simétricas



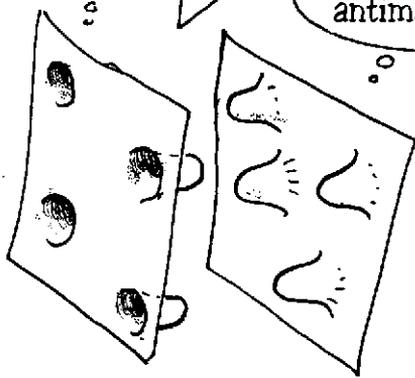
(\*) Ver "Le Topologicon", en esta misma serie.



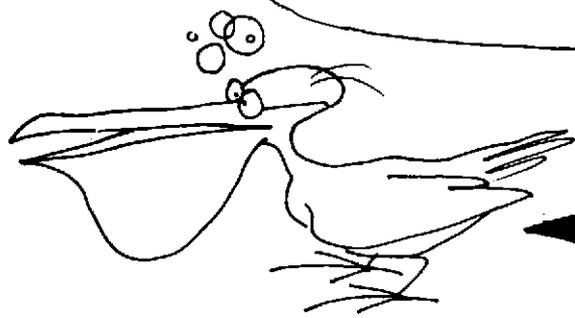
¡Mira, la antimateria!

¡Mira, la antimateria!

Configuración geométrica que da la apariencia de una dualidad materia antimateria

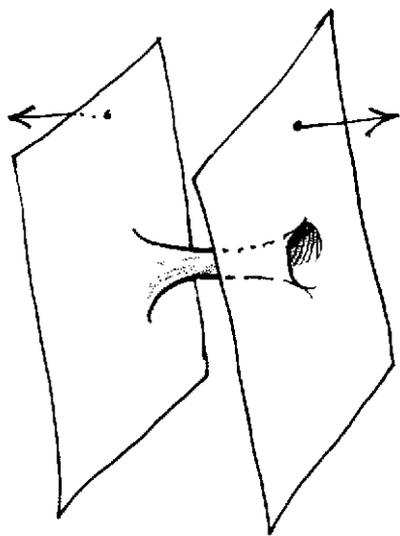


Si comprendo bien, por un lado es imposible franquear el **BIG BANG** pues en ese caso el tiempo se congela en los reservorios. Pero en cualquier caso, por el otro lado, la gente vive el tiempo en reversa



¿Y Sofia, está mejor?

Si



¿Podría ser que uno pudiera pasar del otro lado con la ayuda de agujeros negros y encontrarse allí con los **RETROCRONIENSES**?

¡Caramba...!



# DIACRÓNICO Y RETROCRÓNICO

¿Si algún día nos topáramos con los retrocronienses, qué les diríamos?



Supongo que "Hasta luego", dado que en su **TIEMPO PROPIO** ya se habrían ido

¿Hablas de conversar con ellos?  
¡Pero si ya sabrían todo lo que fuéramos a decirles, mientras que ignorarían todas nuestras frases precedentes!



Económicamente eso sería cuanto menos interesante, pues ellos estarían ávidos de nuestros desperdicios para transformarlos en materia prima



Anselmo se estaba preguntando cómo podría uno intercambiar mensajes con los retrocronienses



Excúsenme... perdí un poco el hilo... ¿En qué estábamos?



Hum... eso me parece difícil. En efecto, si uno les enviara un mensaje, cuando ellos lo recibieran, en el tiempo propio de ellos, ya estarían emitiéndolo



¿Entonces con esta gente todo diálogo sería imposible?



Por lo menos existe una persona con la cual es imposible intercambiar información...

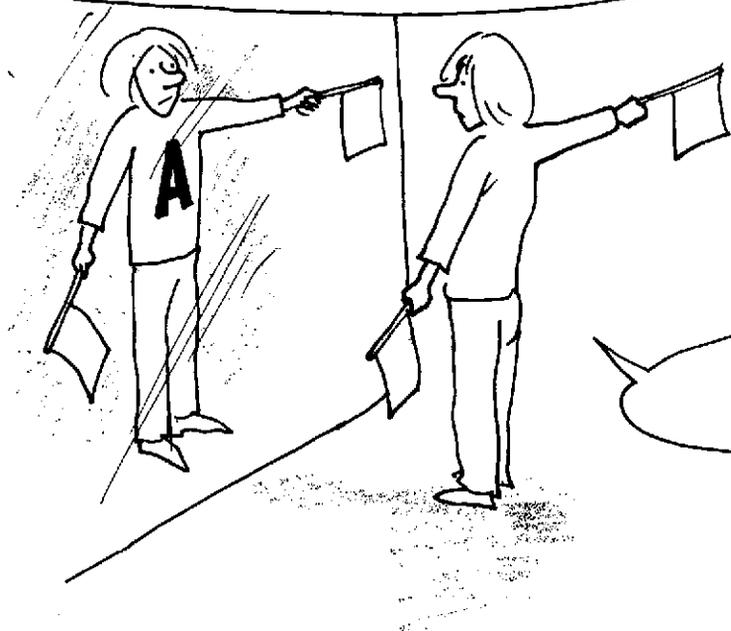


Uno mismo



!!!

Ensayá enviarte a tí mismo unos mensajes a través del vidrio



No vas a aprender gran cosa



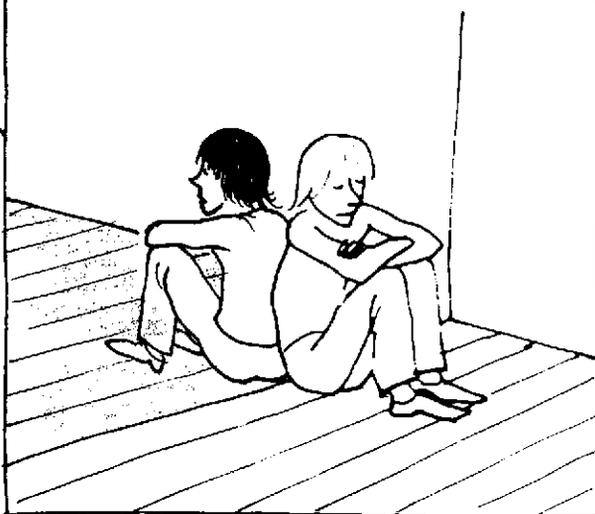
¿Pero... y el universo?

¿Te gustan las historias?  
Pues te voy a contar una

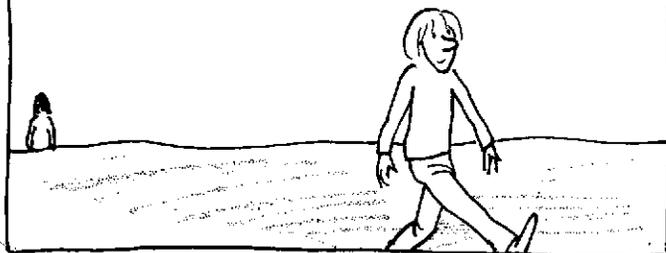


Ay sí, sí...

Había una vez dos jóvenes que  
pasaban su tiempo recostados el uno  
al otro, como un prensalibros



Habitaban en la misma casa y eran vecinos  
de cuarto. Un día partieron uno en dirección  
opuesta al otro, el bruno hacia el oeste, y el  
rubio hacia el este



El rubio se dijo: "Si el mundo es  
redondo, caminando derecho nos  
deberíamos encontrar a mitad de  
trayecto"



El viaje fue de una longitud inimaginable. El rubio pensó  
que ya de tan viejo no iba a poder ver el final del camino



Mi vista ha desmejorado y he perdido casi  
todos mis cabellos



Un día en que se hallaba descansando, perdió por accidente su sacacorchos en un pozo

Cuando se encontraba a mitad de camino, en el fin del mundo, sufrió un frío terrible que le hizo perder todos sus cabellos. Pero él seguía en vano esperando a su compañero



O se perdió en el camino, o murió durante el viaje...



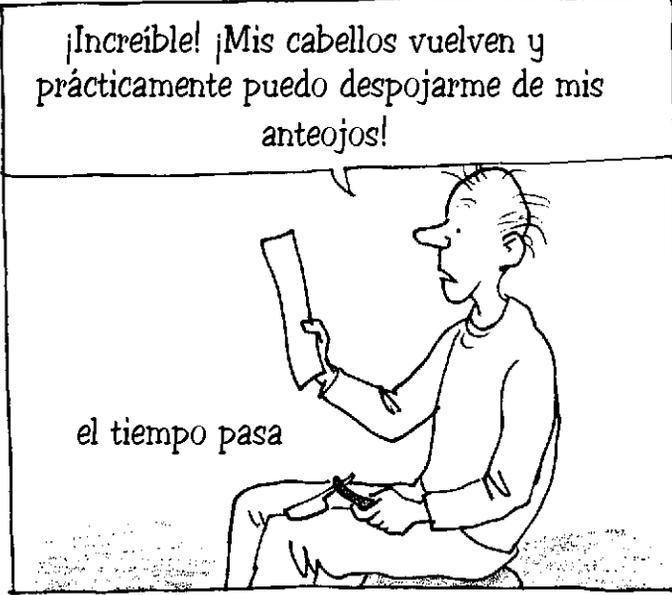
Y con mucha tristeza emprendió el regreso

Todo este camino para NADA



Pero entonces las cosas cambiaron. El sol se puso a brillar

Ah... bien



¡Increíble! ¡Mis cabellos vuelven y prácticamente puedo despojarme de mis anteojos!

el tiempo pasa

La pérdida del sacacorchos lo afligió mucho. Pero un día en que descansaba en el borde de un pozo, de repente apareció un sacacorchos

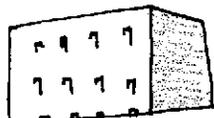
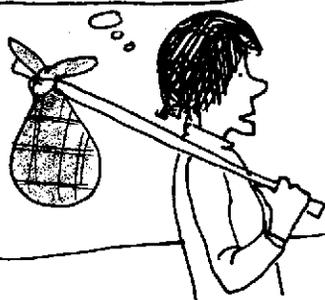


Sin embargo, a pesar de sus esfuerzos, no pudo utilizarlo

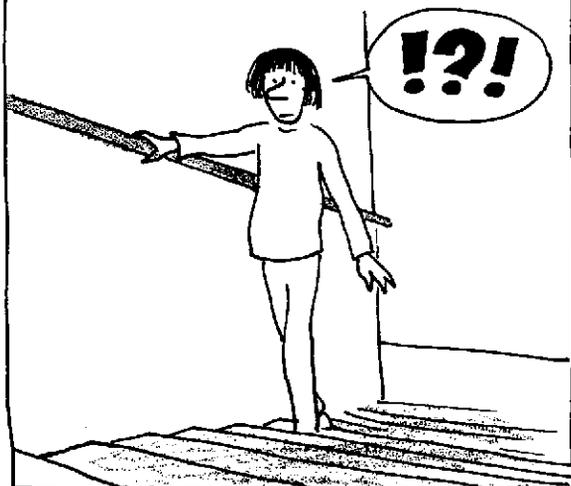


¡Hasta que finalmente se dio cuenta de que se trataba del mismo utensilio que había perdido hacía tanto tiempo!

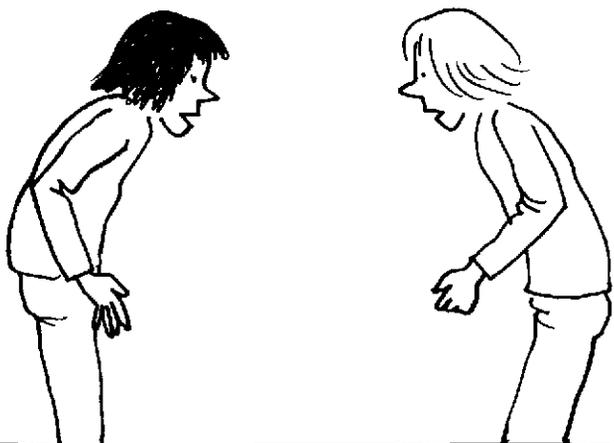
El círculo se cierra...



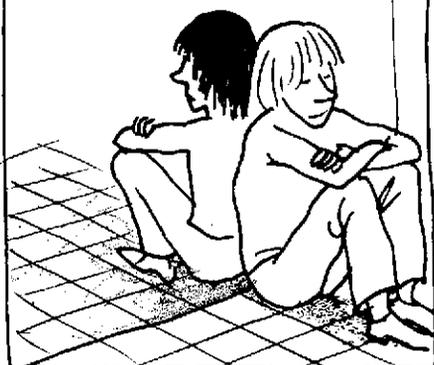
Al subir las escaleras se encuentra cara a cara...



... con un joven rubio...



Y se recuestan el uno de espaldas al otro



Ese es el final de mi historia



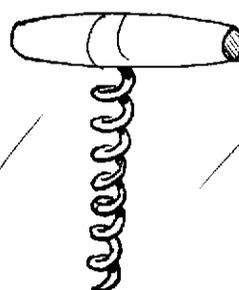
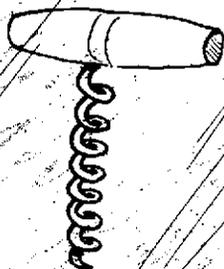
Creo que la entendí. Ellos no están recostados el uno contra el otro. Lo que hay es una especie de espejo, de espejo **ESPACIO-TEMPORAL**



Pero... ¿dónde dejas el sacacorchos... y los pozos?



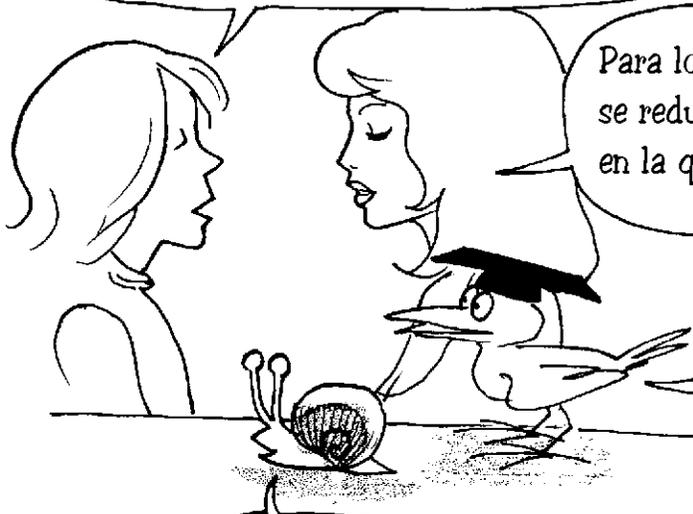
Me parece que el primer pozo era un **AGUJERO NEGRO** y el otro una **FUENTE BLANCA**. Creo que si no logró abrir la botella fue porque el sacacorchos se transformó en su **ENANTIOMORFO**, en su imagen especular (\*)



(\*) Ver "Le Trou Noir" (p. 61), en esta misma serie.

# TIEMPO Y MECÁNICA CUÁNTICA

¿Y qué piensan los mecanocuánticos acerca del tiempo?



Para los físicos de los cuantos, el Universo se reduce a la ecuación de SCHRÖDINGER, en la que interviene la **CONSTANTE DE PLANCK**  $h$

Todos los **EVENTOS** del universo son considerados como soluciones de esa ecuación maestra

Tenemos ahí al menos una teoría con respuesta para todo



A la ecuación se le asocia un tiempo característico, el **TIEMPO DE PLANCK**<sup>(\*)</sup>, cuyo valor es  $0,53 \times 10^{-43}$  segundos. Es fundamentalmente imposible describir con la ayuda de la ecuación de Schrödinger un fenómeno con una duración inferior a dicho tiempo de Planck  $t_p$



Eso es otra cosa...

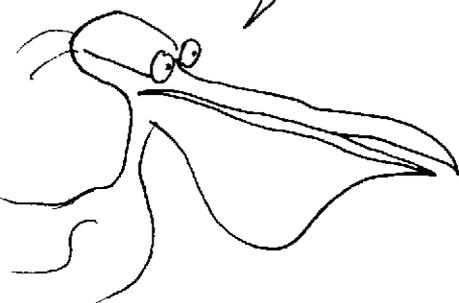
(\*) Ver Anexo D

Querría decir que el presente tiene un espesor finito

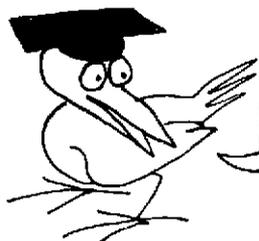
Y también que según los cuánticos el pasado termina a los  $10^{-43}$  segundos. Están imposibilitados para alcanzar conceptualmente el tiempo  $t = 0$

Definitivamente...

Oigan, ¿de qué estamos hablando exactamente? ¿Si el Universo es una máquina, cuáles son sus piezas esenciales?

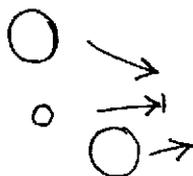


De manera esquemática el universo conocido se representa como una mezcla de fotones y de partículas de materia, en una relación de un millón a uno. La gravitación crea agrupaciones de materia en las que permanentemente la **FUSIÓN** convierte materia en radiación. Los productos de dichas reacciones se denominan "átomos" (\*)



Estos productos de la **NUCLEOSÍNTESIS** pueden reaccionar entre ellos tanto espontáneamente como reabsorbiendo fotones (**FOTOSÍNTESIS**), produciendo ensamblajes llamados moléculas. De la misma manera, mediante **FISIÓN NUCLEAR**, los átomos pueden descomponerse reemitiendo fotones

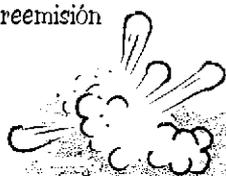
ÁTOMOS



MOLÉCULAS



reemisión



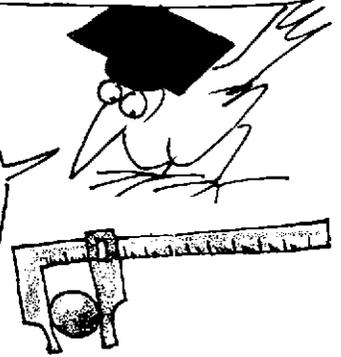
FISIÓN

(\*) Ver "Mille milliards de soleils", en esta misma serie.



La materia y la luz no son más que dos manifestaciones de una sola entidad: la **ENERGÍA-MATERIA**, y todos los fenómenos no hacen más que operar una lenta reconversión de una parte de la materia en forma de fotones

A comienzos del siglo pasado se suponía que las partículas de materia mantenían un tamaño invariable, es decir que la energía-materia que contenían se conservaba a lo largo del tiempo



¿Cuál es el vínculo mágico entre el tamaño de los objetos y su energía?

Sabes bien que en mecánica cuántica todas las partículas se asimilan a ondulaciones del espacio, a **PAQUETES DE ONDA**. Por definición, si  $E$  es la cantidad de energía-materia vehiculada por la partícula, la longitud de onda asociada con ella es

$$\lambda = hc/E$$

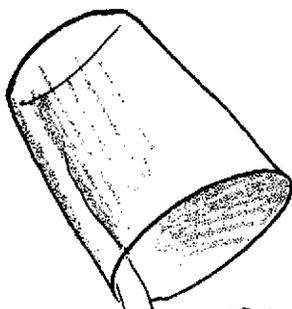


El paquete de onda que representa a una partícula de **MATERIA** conserva su **LONGITUD DE ONDA** a lo largo del tiempo



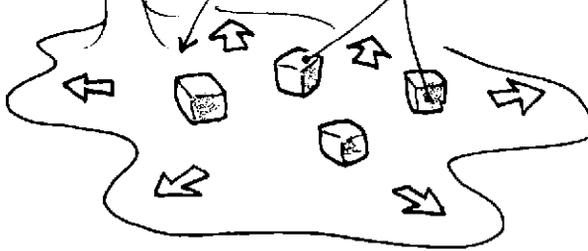
El **FOTÓN** durante la expansión del Universo

(\*)  $h$  : constante de Planck;  $c$  : velocidad de la luz



agua

cubos de hielo

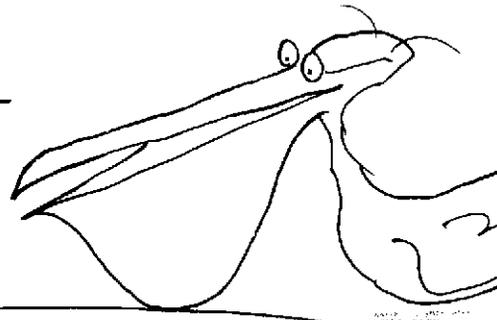


La materia y los fotones, las dos formas de la **ENERGÍA-MATERIA**, no vivieron de la misma manera la expansión cósmica



Ah, sí, claro, la materia es una energía-materia **CONGELADA** (\*)

Dicho brevemente, el Universo está hecho entonces de gránulos de materia y de fotones, con un montón de **VACÍO** alrededor



No, León, el **VACÍO** no existe. En mecánica cuántica, el Universo es una superficie que no es "**LISA**" en ninguna parte. Algunos de sus pliegues son como almidonados y representan la materia. Otros pliegues, los fotones, pueden extenderse y eso es lo que posibilita la expansión del Universo



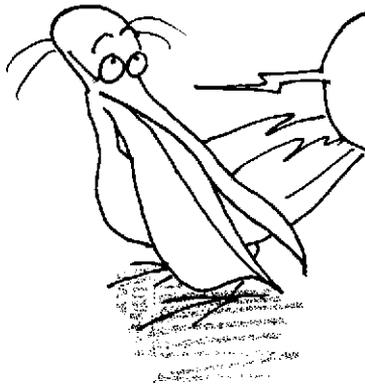
¡Pero... esperen... si la energía varía como el inverso de la longitud de onda, de la extensión espacial de una partícula, entonces esta distensión de los fotones representa una **PÉRDIDA CONTINUA DE ENERGÍA** por parte del Universo!?!

¡Y evidentemente todo el mundo frito!

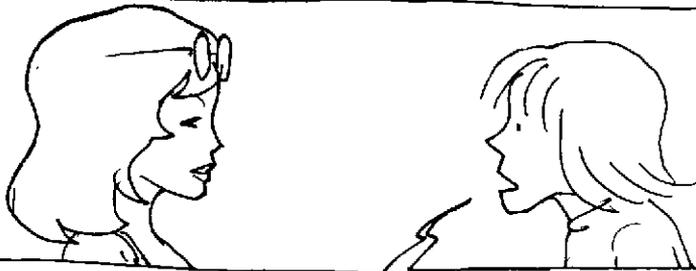


(\*) Ver "Big Bang", pág. 34, en esta misma serie.

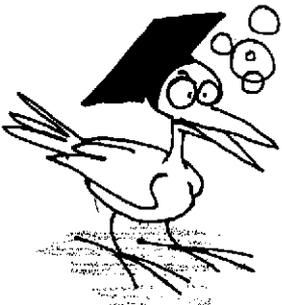
# LA EXPANSIÓN CÓSMICA



En lugar de tener un Universo con entropía constante y con energía variable hubiera sido evidentemente más agradable tener lo contrario. En fin...



Si comprendo bien, la **EXPANSIÓN DEL UNIVERSO** va acompañada de un incremento del espacio ocupado por los fotones originales, los cuales constituyen el **FONDO DE RADIACIÓN COSMOLÓGICA**. Bajo estas condiciones el Universo debería dilatarse **EN TODAS PARTES**



Ahora bien, según los astrofísicos ni el sistema solar, ni las galaxias, ni los cúmulos de galaxias se dilatan. Entonces... **¿QUIÉN PAGA EL PRECIO DE LA EXPANSIÓN?**

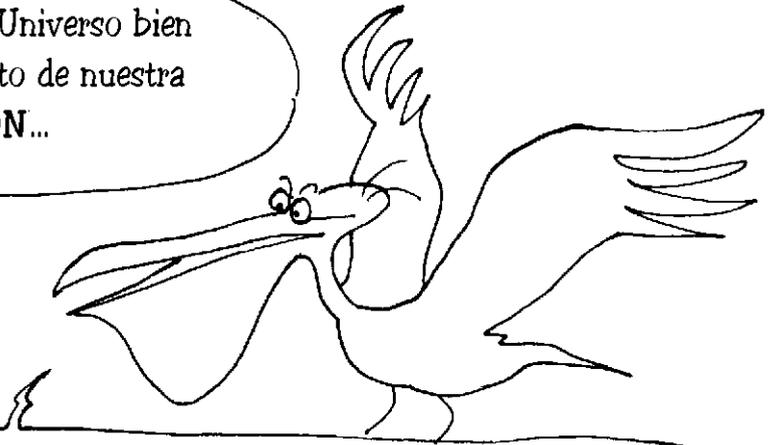
¿Y entonces, Sofia?

Hum...

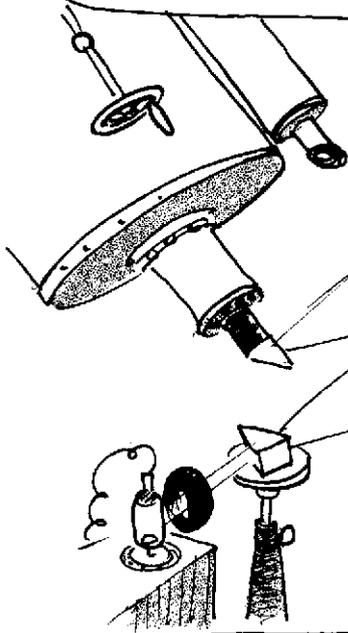
¿Pero la cosmología teórica es una cosa seria, o no?



Después de todo, el Universo bien podría ser sólo el fruto de nuestra **IMAGINACIÓN...**



Mejor deja de decir necedades, Tiresias. ¿Dónde dejas los **HECHOS EXPERIMENTALES**, las **OBSERVACIONES**?! Si creemos en la expansión cósmica es a causa del **CORRIMIENTO AL ROJO**



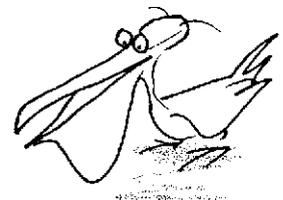
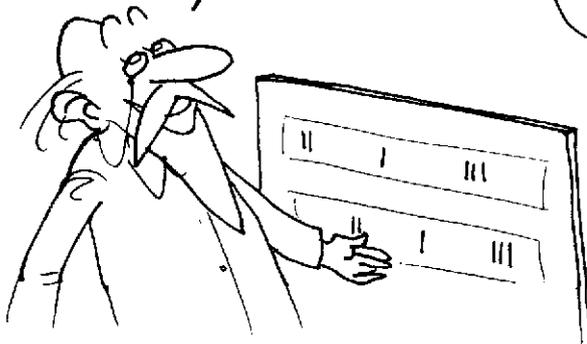
Observen estos dos espectros. El uno fue producido en el laboratorio con hidrógeno a alta temperatura. El otro resulta de descomponer la luz enviada por una galaxia lejana y presenta un corrimiento notable hacia el rojo. A partir de estos **DATOS** deducimos su **VELOCIDAD DE RECESIÓN**. ¿O también es pura imaginación?

¿Cómo es que estás tan seguro de que ese corrimiento hacia el rojo se debe al efecto **DOPPLER-FIZEAU** ?

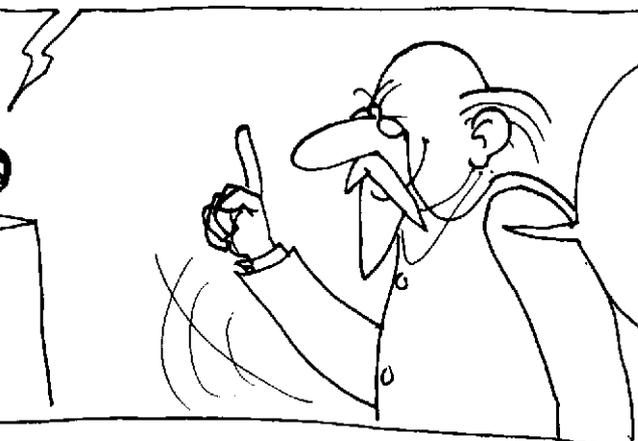


¿A qué crees que se debe entonces? ¿Al cansancio de la luz?...

El cosmólogo y filósofo **MILNE**, quien rechaza la idea de la expansión del universo, le da a la caída de la frecuencia de los fotones otro tipo de significado



La energía de un fotón es  $h\nu$ , donde  $h$  es la constante de Planck y  $\nu$  la frecuencia. Milne dice: "Supongamos que la energía de un fotón se conserva, y que  $h$  crece proporcionalmente al tiempo. En ese caso uno medirá, al recibir un mensaje, una frecuencia  $\nu$  más baja, sin efecto Doppler y sin expansión"



¡Un universo **ESTÁTICO!**  
Pero eso, hijo mío, no funciona.  
¿Pues dónde dejas entonces la radiación fósil, la huella de la **EXPLOSIÓN PRIMORDIAL?**

Bien, volvamos entonces al universo en expansión.  
¿Expansión con respecto a **QUÉ?**

¿Podría tratarse de un **COSMOTOPO?** (\*)



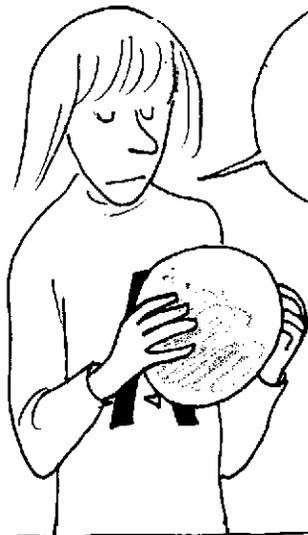
¡Tonterías! El contenedor y el contenido del universo no son más que uno y el mismo objeto. Lo único que cuenta es la medición del corrimiento hacia el rojo

De cualquier forma, no es cuestión de poder hacer mediciones en un lugar dado de objetos que están a miles de millones de años luz. Todo consiste en construir un **SISTEMA DE REPRESENTACIONES** que dé aceptable cuenta de las observaciones. En la ciencia no se hace más que **SALVAR LAS APARIENCIAS**



(\*) Literalmente: "Lugar donde se halla el universo"

# MODELO GAUGE (\*)



Veamos. Cuando uno quiere imaginarse un universo en expansión, en general se toma la imagen de un globo que se infla, con pequeños puntos dibujados en su superficie para indicar los cúmulos de galaxias



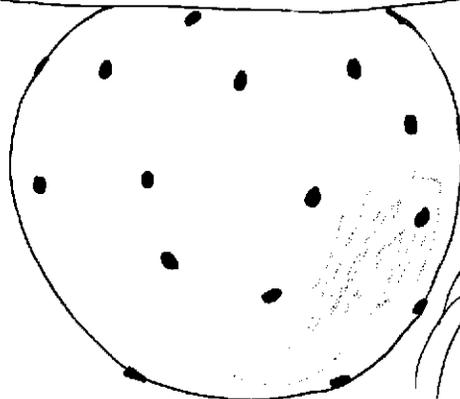
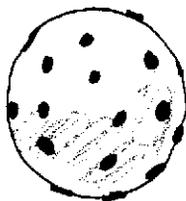
No, el modelo clásico no es así como dices



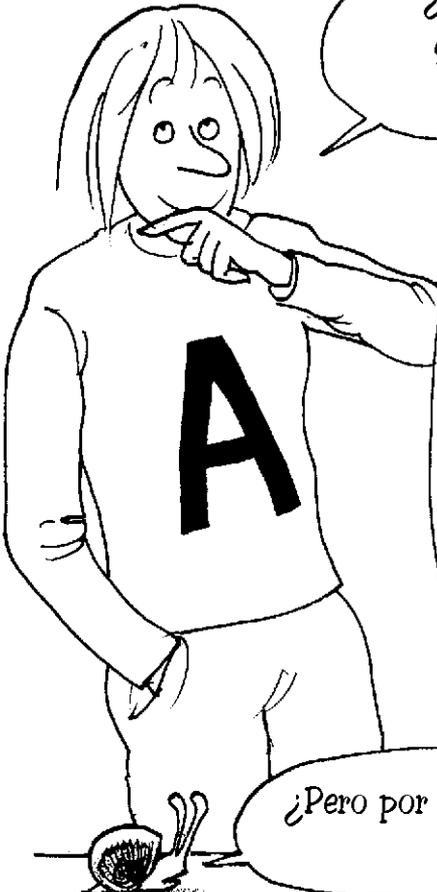
Te falta fijar sobre tu globo pequeñas cintas autoadhesivas pues los cúmulos de galaxias se considera que no se dilatan con el transcurso del tiempo



En ese caso la expansión cósmica corresponde a los dibujos aquí abajo



(\*) Ver "An interpretation of cosmological model with variable light velocity", J.P.Pétit: Modern Physics Letters A vol. 3 No. 16 (1988) pp. 1527-1532; "Cosmological model with variable light velocity. The interpretation of red shifts", J.P. Pétit: Modern Physics Letters A vol. 3 No. 18 (1988) pp. 1733-1744.



¿Por qué será que todos los objetos del universo: las galaxias, el sistema solar, las partículas elementales, no se expanden junto con él?

Mi joven amigo, el tamaño de esos objetos está determinado por un cierto número de constantes: la constante de gravitación  $G$ , la constante de Planck  $h$ , la masa del protón  $m$ , la velocidad de la luz  $c$



Todo eso es bien conocido, tú sabes...

¿Pero por qué esas cantidades  $G$ ,  $h$ ,  $m$ ,  $c$ , son invariables?



Pues porque no varían...

Sí, bueno, no de un día a otro, de un lugar a otro de la Tierra... ¿pero por qué sus magnitudes no han cambiado en miles de millones de años?

Supongo que la velocidad de la luz  $c$  debe ser constante a causa de la Relatividad General...

Eso no está escrito en ninguna parte...



¿Ah sí?...





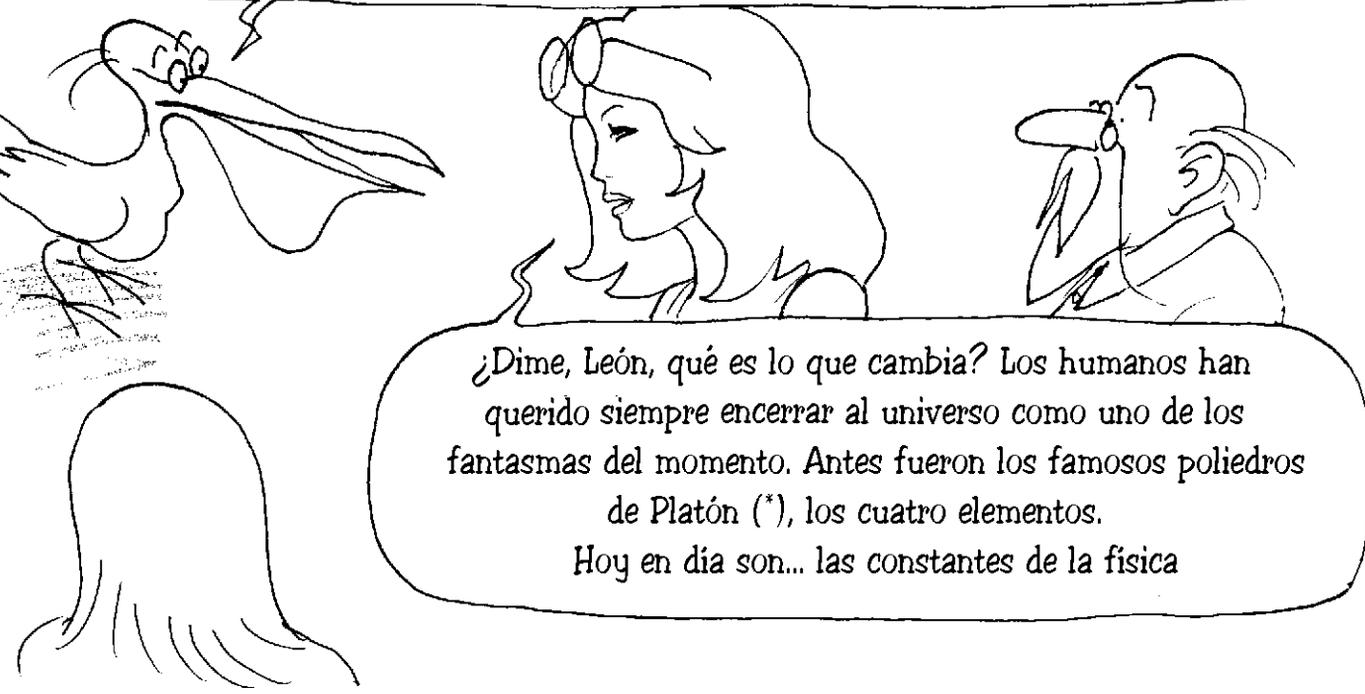
¿Y la constante de Planck  $h$ ? No puede variar... como consecuencia de la mecánica cuántica

Esa también no es más que otra hipótesis ligada a un **SISTEMA DE REPRESENTACIONES**

Pero... ¡se trata de **AXIOMAS!!**

Un axioma no es más que una creencia con cuello duro y corbata

Quieres decir que a comienzos del siglo pasado se pudieron realizar las primeras mediciones precisas de dichas cantidades que intervienen en las ecuaciones, algunas de las cuales fueron inclusive descubiertas en esa época. ¿Se ha establecido entonces un **CONSENSO** tácito, postulando su **CONSTANCIA ABSOLUTA** ?



¿Dime, León, qué es lo que cambia? Los humanos han querido siempre encerrar al universo como uno de los fantasmas del momento. Antes fueron los famosos poliedros de Platón (\*), los cuatro elementos. Hoy en día son... las constantes de la física

(\*) Ver "Cosmic story" (p. 26) en esta misma serie.



¡Esperen, no tan rápido! Hemos mostrado que si tocamos algunas constantes de la física, eso implica algunas cosas que contradicen las observaciones!

Si, ¿pero qué pasa si se considera que **TODAS** esas constantes varían con el tiempo, incluida la **VELOCIDAD DE LA LUZ**?



La velocidad de la luz...

Si permites que las constantes varíen con el tiempo, si las "liberas", eso te permitirá también crear nuevas leyes físicas que le devuelvan al edificio del conocimiento su solidez

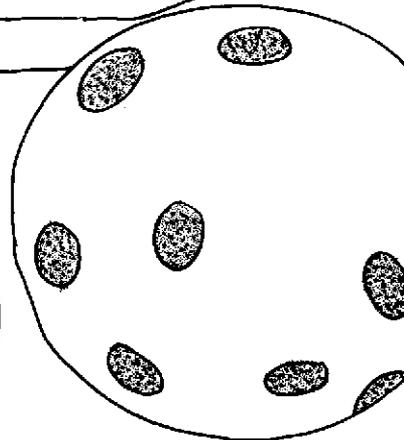
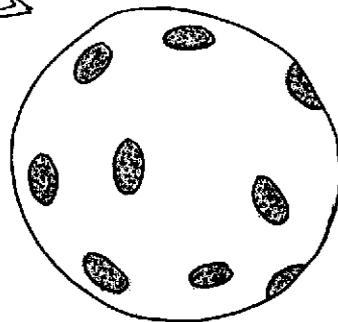
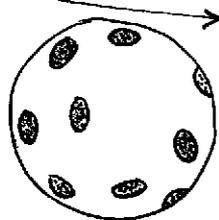
# SUPER-RELATIVIDAD



Lo tengo, todo consiste en postular la **CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA**, y no de la masa, y en suponer que los objetos del universo **SE DILATAN JUNTO CON ÉL**

**TODOS** los objetos, es decir las galaxias, el sistema solar, los agujeros negros y también los protones y los neutrones...

Los objetos son dibujos sobre el globo





En efecto, eso te da una velocidad de la luz infinita en  $t = 0$ , que decrece después de manera continua (\*). La masa aumenta, pero la energía  $mc^2$  permanece constante. La constante de gravedad varía como el inverso de la masa... y todo eso es solución de la ecuación de la **RELATIVIDAD GENERAL**, de la famosa **ECUACIÓN DE EINSTEIN**

$$G = \chi T$$
$$d\chi^2 = (dx^2)^2$$
$$- \frac{e^2 \chi^2 dx^2}{(1 + k \frac{r^2}{4 \chi^2})}$$



¡¿Y entonces?!



Ese modelo del que hablan es una monstruosidad, una quimera. ¿Dónde dejan el corrimiento al rojo?



¡Míralo, ahí está! Encontramos que la constante de Planck varía como  $t$  y por lo tanto retomamos la idea de Milne de la página 65

¡Diabólico!



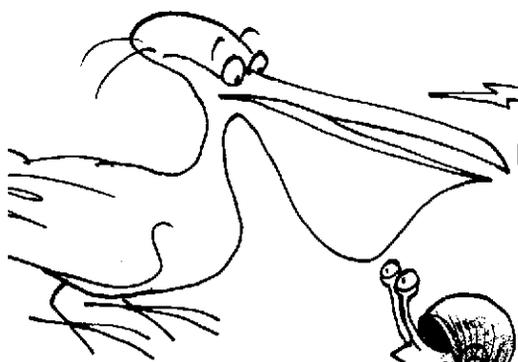
Veamos... el fotón es emitido con una cierta **ENERGÍA**  $h\nu$ , que se conserva. Durante su recorrido la constante de Planck  $h$  crece, y por lo tanto la frecuencia  $\nu$ , tal y como será medida por un receptor, será diferente (\*\*)  
¡Hum... qué curioso!...



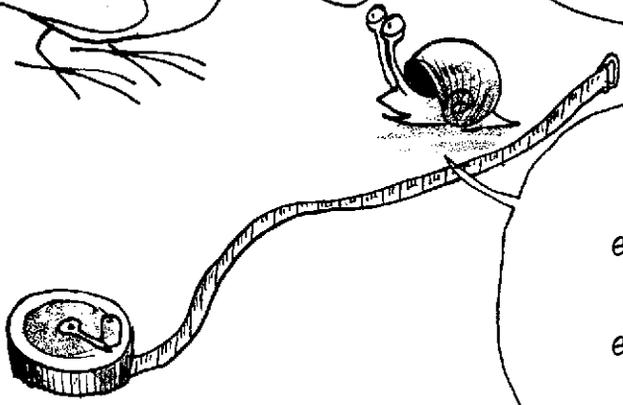
¡Couak!

(\*) En este modelo la velocidad de la luz  $c$  varía como  $\frac{1}{\sqrt[3]{t}}$ .

(\*\*) El corrimiento  $\Delta\nu$  de la frecuencia es proporcional a la distancia a la fuente. Esta es la **LEY DE HUBBLE**.

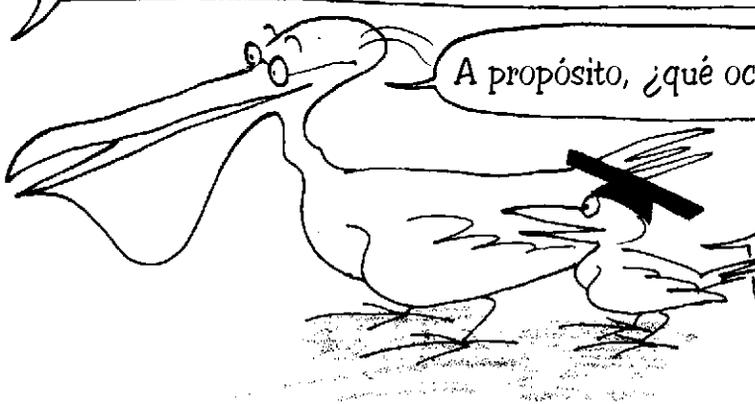


Pero... si el corrimiento al rojo no se debe al efecto Doppler por la velocidad de recesión de las fuentes, entonces el universo no está en expansión, ¿o no? No comprendo nada...



¡Estamos fritos! Todo lo que cuenta es poder explicar lo observable, el corrimiento al rojo. Y en ese modelo ya no puedes MEDIR la expansión pues tu cinta métrica se dilatará al mismo tiempo que el universo

Así mismo, no puedes poner en evidencia LOCALMENTE las variaciones de  $h$ ,  $c$ ,  $G$ ,  $m$ , etc... pues los instrumentos de medición, basados en las mismas constantes, derivan "paralelamente"



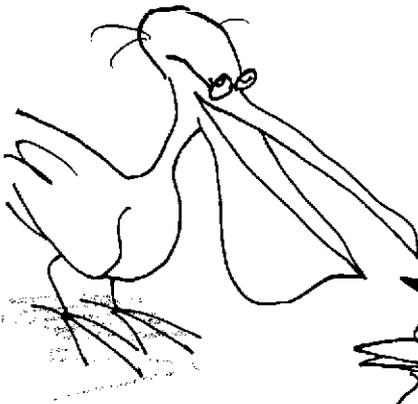
A propósito, ¿qué ocurre con la ENTROPIA?

Crece con el tiempo  $t$  (\*). Cae la paradoja de la pág. 36



¿Y la famosa SINGULARIDAD INICIAL en  $t = 0$  de la que tanto se habla?

(\*) En este modelo la entropía  $S$  varía como  $\text{Log}t$  (Anexo F).



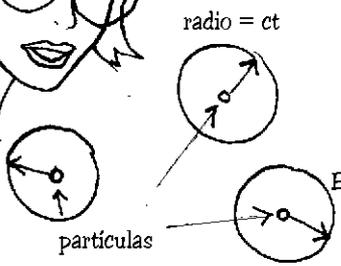
Si reemplazas la **VARIABLE CRONOLÓGICA**  $t$  por la **ENTROPIA**  $S$ , la singularidad deja de existir puesto que lo que llamas "instante inicial" corresponderá entonces a  $S = -\infty$  (\*). La cuestión de la edad del universo **ANTES** del Big Bang pierde sentido



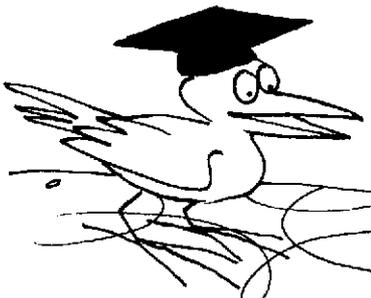
Eso quería decir que el **TIEMPO** no es una buena **VARIABLE** para describir los **EVENTOS**, sino una especie de espejismo algo ilusorio



Puesto que tenemos que atacar las paradojas, vimos en la pág. 36 que no sabíamos cómo explicar el desorden aparente y la notable homogeneidad del Universo, dado que en su juventud las partículas se ignoraban olímpicamente



Dichas partículas emitieron una onda luminosa, a una velocidad  $c$ , en el tiempo  $t = 0$ , pero se alinearon tan rápidamente las unas a las otras que sus "**ESFERAS DE HORIZONTE**" no se solaparon más, y están ahora en un estado de **AUTISMO perfecto** (\*)



Por el contrario, en la **SUPER-RELATIVIDAD** las esferas-horizonte se solapan en todas las épocas (se agrandan a la misma velocidad que el universo) y las partículas interactúan. **DESORDEN** y **HOMOGENEIDAD** se encuentran así justificados

(\*) En psiquiatría, ausencia total de comunicación con otros.

¡El tiempo de Planck sigue siendo en todo caso un problema! ¡Tal parece que no te vas a poder desembarazar de todas las paradojas!

Veamos, ese tiempo vale  $\sqrt{\frac{hG}{c^5}}$ .  
Un segundo, déjeme ver...

¡El tiempo de Planck varía como...  $t$ !  
La barrera de Planck desaparece (\*)

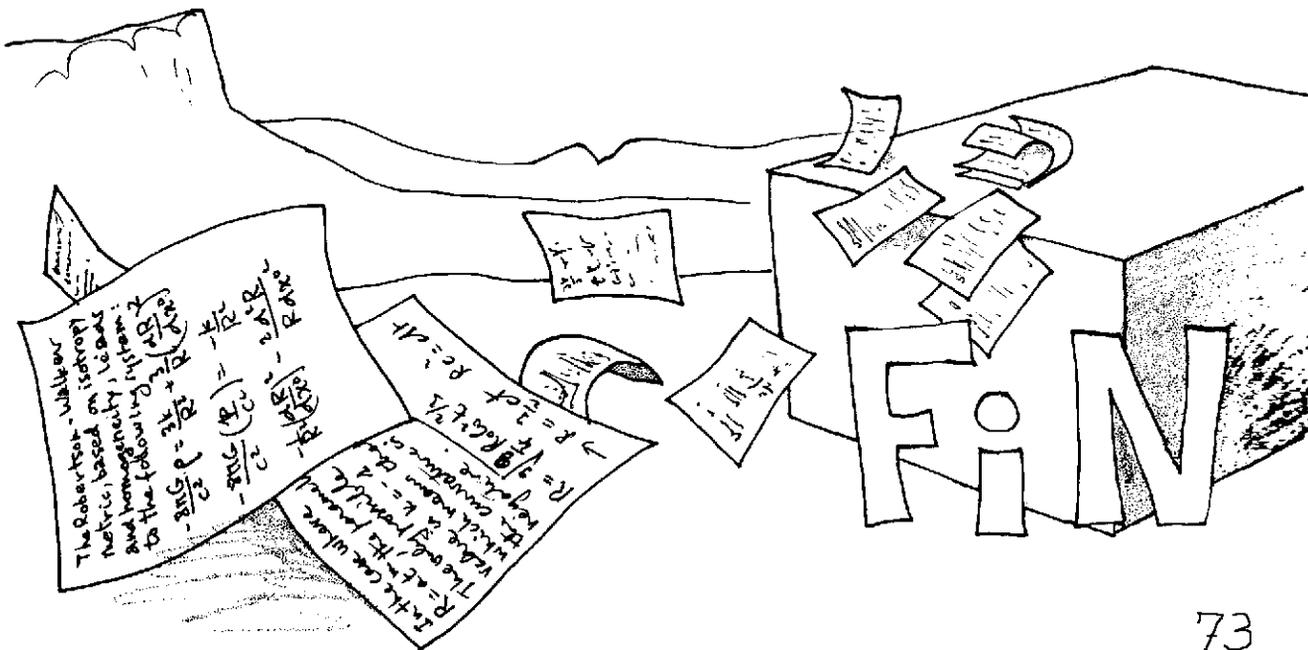
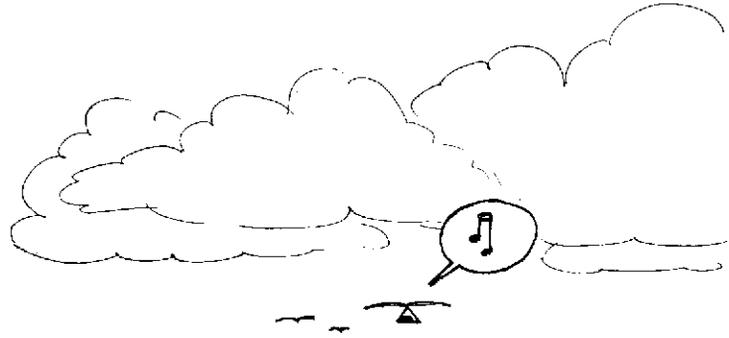
¿Algo más?

ARGN...

Tiresias, ¿dónde está Anselmo?

Creo que está por allá arriba

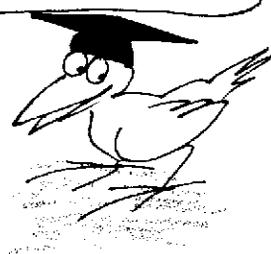
(\*) Ver Anexo F





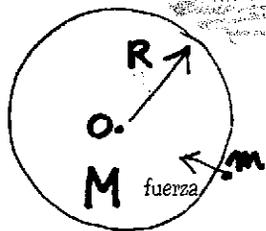
La ciencia moderna tiene la reputación de construirse a partir de ecuaciones terriblemente complicadas que sólo pueden ser comprendidas por un número restringido de "grandes cerebros". Pero las ideas fundamentales son siempre sencillas y es frecuente que uno pueda ilustrarlas de manera perfectamente válida con la ayuda de cálculos que se parecen a los cálculos de los tenderos

Las notas siguientes son ejemplo de eso



# ANEXO A

O cómo encontrar la ley de evolución del universo en tres líneas de cálculo



Consideremos el Universo como un grumo homogéneo de polvo, de radio  $R$  y masa  $M$ . Consideremos ahora un grano de polvo de masa  $m$ , situado en su superficie. Se puede mostrar que la fuerza que se ejerce sobre esta masa es la misma que produciría toda la masa  $M$  concentrada en el centro  $O$ , es decir  $F = -GMm/R^2$ . Aplicando  $\vec{F} = m\vec{y}$ , como en mecánica, resulta  $-mR'' = GMm/R^2$  o:  $R^2R'' + GM = 0$ , la famosa ECUACIÓN DE FRIEDMAN. Construyamos una de las tres soluciones de esta ecuación diferencial, dando para tal fin a  $R(t)$  la forma  $at^b$ , donde  $a$  y  $b$  son constantes a determinar. Si  $R = at^b$  entonces  $R' = abt^{b-1}$  y  $R'' = ab(b-1)t^{b-2}$ . Reemplazando en la ecuación se obtiene:  $b(b-1)a^3t^{3b-2} + GM = 0$ , válida para cualquier  $t$ . La única solución es cuando el exponente de  $t$  es cero, y por lo tanto  $b = 2/3$ , de donde resulta  $a = \sqrt[3]{9GM/2}$  y  $R = \sqrt[3]{9GM/2} t^{2/3}$

$R(t)$  es la longitud característica de dicho universo, la cual puede ser asimilada tanto a su radio de curvatura como a la distancia promedio entre dos partículas.

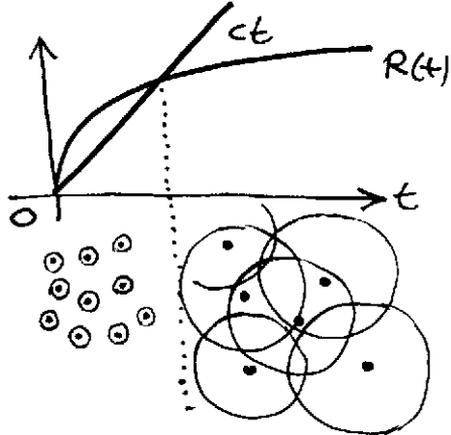


# ANEXO B

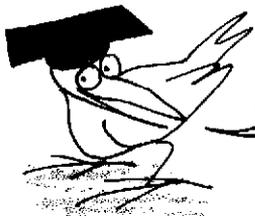


El universo autista

Un simple vistazo a la curva  $R(t)$  muestra que la expansión del universo comenzó en una explosión, y que velocidad de expansión comenzó a disminuir en lo sucesivo. Si se identifica  $R(t)$  con la distancia promedio entre dos partículas,  $ct$  representa el radio de una onda electromagnética emitida en el instante  $t = 0$ . Con una velocidad de la luz constante se ve que el radio de esta "esfera horizonte", o esfera de lo conocible, permanecerá un cierto tiempo por debajo de la distancia promedio entre las partículas, las cuales se ignorarán totalmente durante dicho periodo de tiempo.

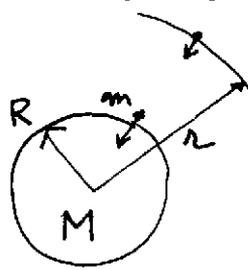


# ANEXO C



Cómo calcular el radio de un AGUJERO NEGRO

Sea un astro de radio  $R$  y masa  $M$ , y una masa  $m$  en su superficie, Supongamos que esta masa es un cohete. La energía que este podrá desplegar no podrá exceder  $mc^2$ , que representa su equivalente en energía. Calculemos la energía necesaria para liberar esta masa  $m$  del campo de gravedad del astro. La fuerza es  $F = -GMm/r^2$ . El trabajo



es  $-GMm/r^2 dr$ , donde  $dr$  es un pequeño desplazamiento. La energía necesaria es  $E = -\int_R^m GMm/r^2 dr = GMm/R$ . Esta energía excederá a la energía máxima disponible si  $GMm/R > mc^2$ , es decir cuando  $R < GM/c^2$  (radio de Schwarzschild).

Un cálculo más fino, teniendo en cuenta la disminución de la masa, lleva al valor exacto  $R_s = 2GM/c^2$ . Si una masa  $M$  está contenida en el interior de su radio de Schwarzschild, ningún objeto puede escapar de ella, pues la energía necesaria tendría que ser superior a  $mc^2$ . El radio de Schwarzschild del Sol es de 3,7 Km.

El fotón tiene una energía  $h\nu$ . Representa una cantidad equivalente de materia  $m_\phi = h\nu/c^2$ , gracias a la cual se puede calcular su energía de extracción:  $-\int_R^\infty GMm_\phi/r^2 dr = (GM/Rc^2) h\nu$ . La energía de un fotón que logra abandonar el astro es  $E' = h\nu(1 - GM/Rc^2) < h\nu$  (fenómeno de corrimiento al rojo gravitacional). Si  $R < GM/c^2$  el astro ya no puede emitir luz. Es un agujero negro.

**ANEXO D**



Pasemos ahora a las condiciones de Planck

La longitud espacial de una partícula de masa  $m$  está dada por la longitud de Compton  $\lambda_c = h/mc$ . Supongamos que la partícula sea un agujero negro. Entonces esta longitud  $\lambda_c$  deberá ser igual al radio de Schwarzschild, es decir:  $h/mc = Gm/c^2$ , lo que resulta en  $m_p = \sqrt{hc/G}$ , unos  $10^{-5}$  gramos. No puede existir una partícula más pesada. Su radio es entonces  $h/mc = h/c\sqrt{G/hc}$ .

Sea  $L_p = \sqrt{hG/c^3}$ . Esta es la LONGITUD DE PLANCK,  $1.6 \times 10^{-33}$  cm.

Nada más pequeño puede existir en el universo.

Es la malla elemental del jersey espacial



Sea un fotón de longitud de onda  $\lambda = c/\nu$ . Su energía es  $E = hc/\lambda$  y su masa equivalente  $m_\phi = E/c^2 = h/\lambda c$ . Su radio de Schwarzschild es  $R_s = Gm_\phi/c^2 = Gh/\lambda c^3$ , que es igual a su longitud de onda si  $\lambda = \sqrt{Gh/c^3} = L_p$ .

Cuando la longitud de onda de un fotón iguala a su radio de Schwarzschild, este se pone a dar vueltas como un perro mordiendo su propia cola, y la información no tiene cómo circular. A esta longitud se le asocia el tiempo  $t_p = L_p/c = 0.54 \times 10^{-43}$  segundos.

Es el ESPESOR DEL PRESENTE



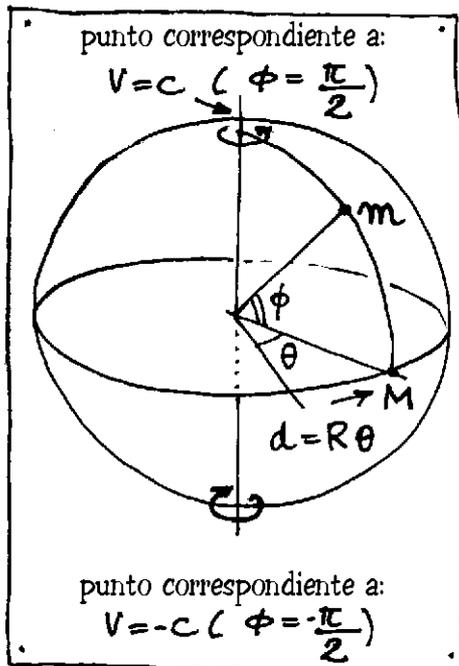
El espesor de las páginas del libro



# ANEXO E

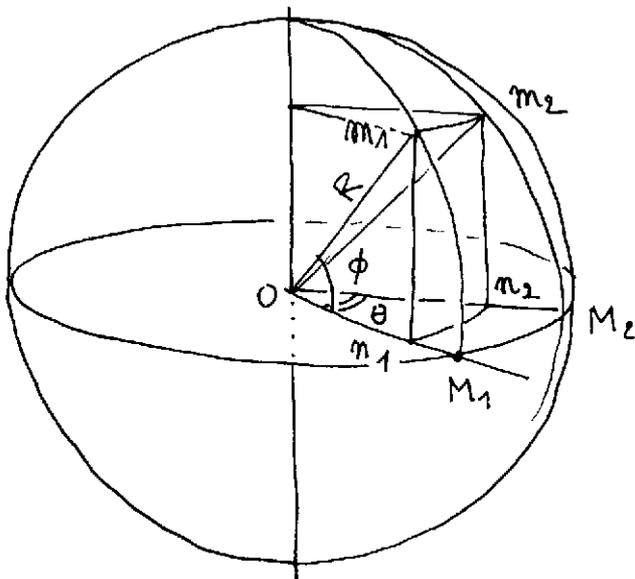
## EL ESPACIO DE FASES RELATIVISTA

Se trata de un espacio curvo, a la vez en posición y en velocidad. Nos limitaremos a una dimensión de posición y a una de velocidad. La posición se indicará con la letra  $\theta$  y la velocidad con la letra  $\phi$ .



Para un observador inmóvil el desplazamiento de un objeto a velocidad  $V$  será  $d = R\theta$ , y la velocidad estará ligada al ángulo mediante la relación  $V = c \text{ sen } \phi$ . Para este observador los fotones circularán alrededor de los polos siguiendo trayectorias de longitud nula (ver "Tout est relatif", volumen de esta misma serie de aventuras)

Sea  $\widehat{M_1 M_2} = R\theta$  un desplazamiento percibido por un observador en reposo.

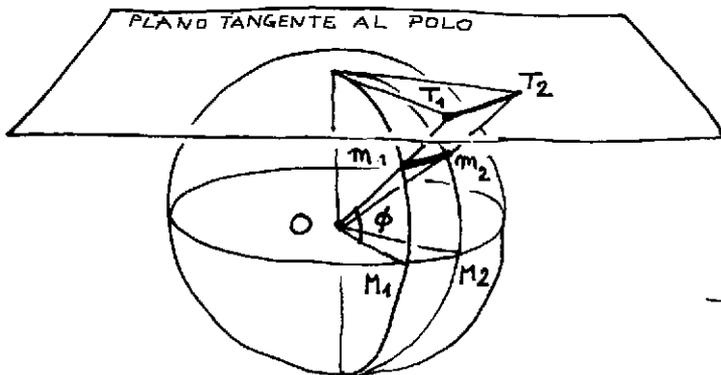


En el espacio de fases el desplazamiento real corresponde al arco  $\widehat{m_1 m_2}$ , el cual se proyecta en el arco  $\widehat{n_1 n_2}$  en el plano ecuatorial. El segmento  $\overline{on_1} = R \cos \phi$ . El arco  $\widehat{n_1 n_2} = \overline{on_1} \theta$ . Como  $\cos^2 \phi + \text{sen}^2 \phi = 1$ , y  $\text{sen } \phi = v/c$  se obtiene:

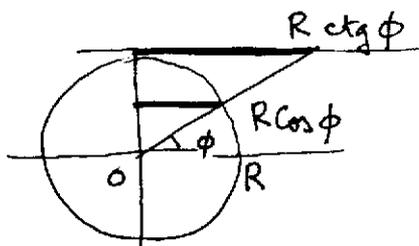
$$\widehat{m_1 m_2} = \widehat{M_1 M_2} \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

que no es otra cosa que la célebre CONTRACCIÓN DE LORENTZ.

En el espacio de fases el tiempo ya no es una variable libre. El TIEMPO PROPIO se calcula. Es proporcional al arco  $\widehat{T_1 T_2}$ , que es la proyección del arco  $\widehat{m_1 m_2}$  sobre el plano tangente al polo.



$$t = \widehat{T_1 T_2} / c = (R \theta \text{ ctg } \phi) / c$$



La velocidad  $V$  es el cociente entre desplazamiento y duración y es

igual a :  $\frac{m_1 m_2}{T_1 T_2} c$  , por lo tanto :

$$v = c \frac{R \cos \phi \theta}{R \cot \phi \theta} = c \sin \phi$$

## ANEXO F

## LA SUPER-RELATIVIDAD

\* Damos "libertad" a todas las "constantes" de la física.

Por ejemplo :  $G$ , la constante de gravitación;  $h$ , la constante de Planck;  $c$ , la velocidad de la luz;  $m$ , la masa del protón o del neutrón.

\* En la ecuación de la Relatividad General la constante de Einstein

$\chi = -8\pi G/c^2$  es una constante ABSOLUTA. Por lo tanto,  $G \approx c^2$  . (  $\approx$  quiere decir "varía como..." ).

\* Suponemos que la energía  $mc^2$  se conserva a lo largo del tiempo, siendo  $m$  la masa de la partícula en reposo.

\* Suponemos que las galaxias, el sistema solar, los agujeros negros, los protones y los neutrones se "agrandan" al mismo tiempo que el Universo, siendo su perímetro igual a  $2\pi R$ .

Escribimos que el radio del Agujero Negro (radio de Schwarzschild) crece como  $R$  y entonces  $Gm/c^2 \approx R$ , y como  $G/c^2 = \text{cte}$ . entonces

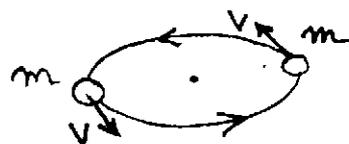
$m \approx R$ . Por otra parte, como  $mc^2 = \text{cte}$ .

$$Rc^2 = \text{cte} \quad \text{ó}$$

$$c \approx \frac{1}{\sqrt{R}}$$

y

$$G \approx \frac{1}{R}$$



Tomemos dos estrellas de la misma masa, orbitando alrededor de su centro de gravedad según una trayectoria circular de radio  $r$ . La fuerza centrífuga es  $mV^2/r$ , y la atracción gravitacional mutua es  $Gm^2/4r^2$

Si  $r$  varía como  $R$  entonces  $Gm^2/R \approx mV^2/R$ , de donde resulta :

$V \approx 1/\sqrt{R}$ . El cociente  $\beta = v/c$  se conserva a lo largo del tiempo lo mismo que la energía  $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

La extensión espacial del protón está dada por su longitud de Compton  $h/mc \approx R$ , de donde resulta :

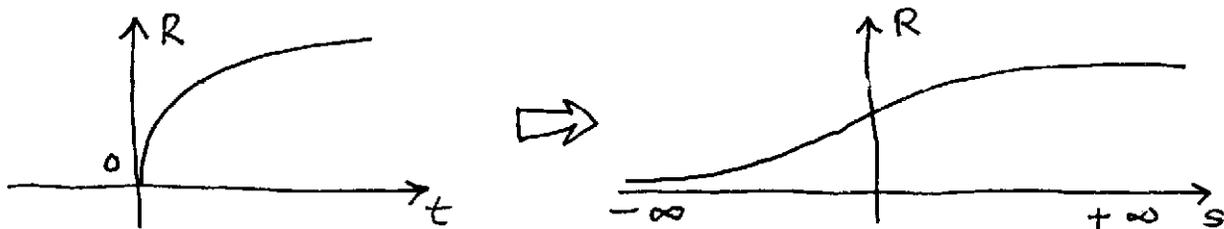
$$h \approx R^{3/2}$$

La resolución de la ecuación de Einstein, suponiendo un universo homogéneo e isotrópico (métrica de Robertson-Walker) conduce a la ecuación diferencial :



$$\frac{2R''}{R} + \frac{R'^2}{R^2} (2 + \beta^2) + \frac{kC^2}{R^2} (-1 + \beta^2) = 0$$

donde  $V = \beta c$  es la velocidad de agitación de las galaxias en el "fluido cosmológico". Buscando una solución de la forma  $R = at^b$  se ve que  $\beta$  se elimina y que  $k = -1$  lleva a una solución  $R \approx t^{2/3}$ , siendo  $k$  el índice de curvatura. Por lo tanto dicho universo tiene una curvatura negativa (\*). El horizonte cosmológico se define como la integral  $H = \int_0^t c(\tau) d\tau$  y se encuentra que :  $H \equiv R(t)$ . En consecuencia, la homogeneidad del universo se encuentra justificada en todas las épocas. La entropía se escribe  $S \approx \text{Log } t$ . En una descripción en la que la entropía reemplaza a la variable tiempo la singularidad inicial desaparece, simple y llanamente :



Todas las ecuaciones de la física (Schrödinger, Maxwell, Boltzmann, etc.) son invariantes en las transformaciones obtenidas. Se encuentra que el CORRIMIENTO AL ROJO es proporcional a la distancia (Ley de Hubble). Hasta unos cuantos miles de millones de años-luz las distancias calculadas para las fuentes son prácticamente idénticas a las distancias resultantes del modelo clásico. La energía de los fotones  $h\nu$  se supone se conserva (como todas las energías). Como  $h \approx t$  entonces  $\nu \approx 1/t$ . El corrimiento al rojo no es más consecuencia del efecto Doppler sino que resulta de la deriva secular de la constante de Planck. En 1988 Barthelemy et Miley (Nature, vol. 333, mayo 1988) mostraron que entre más lejanos están los cuásars, más pequeños resultan. Esto concuerda con el modelo, en el que los cuásars se "agrandan" junto con el Universo.

(\*)

(\*) Ver "Le Géométricon" y "Le Trou Noir", en esta misma serie de aventuras.



Hasta el momento el modelo de Anselmo no contradice ninguna observación

Y todo parece marchar mucho mejor que en el modelo clásico para los cuásars

¿Tú qué opinas, Sofia?

El modelo de Anselmo no está completo. Quedan algunas constantes ligadas a los procesos nucleares y le hace falta inventar una manera de hacerlas variar para poder dar cuenta de esos fenómenos que también hacen parte de la cosmología

Pues de lo contrario aparecerán las contradicciones. Y entonces... ¡a padecer!

Debe estar algo preocupado....

¿Tú crees?...